

MOYENS DE RÉDUCTION DES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS PRÉSENTS DANS LES  
EFFLUENTS HOSPITALIERS

Par

Sophie Boulay

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de  
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Monsieur Marc Olivier

MAITRISE EN ENVIRONNEMENT

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Janvier 2018

## SOMMAIRE

**Mots-clés :** polluant émergent, perturbateur endocrinien, eau usée, rejet hospitalier, produits pharmaceutiques, antibiotiques, cytostatiques, hormones stéroïdiennes, nonylphénol, mercure, triclosan

L'objectif est d'émettre des recommandations afin de limiter l'accumulation de perturbateurs endocriniens provenant des effluents hospitaliers dans les cours d'eau. Pour ce faire, le contexte entourant les perturbateurs endocriniens est établi. Ensuite, les polluants émergents retrouvés dans les eaux de surface et dans les rejets des centres hospitaliers sont dressés. Ceci permet d'établir une liste des principaux polluants présents dans l'environnement qui proviennent de ces établissements. Parmi ces polluants, ceux reconnus comme des perturbateurs endocriniens sont mis en lumière. Puis, des technologies de traitements des eaux usées sont analysées en fonction de leur capacité à éliminer les perturbateurs endocriniens d'intérêts. Par conséquent, il en découle une présentation des moyens de réductions des perturbateurs endocriniens.

Les effluents hospitaliers se différencient des eaux usées urbaines par leurs importantes concentrations en produits pharmaceutiques, la présence élevée de bactéries multirésistantes et la forte activité estrogénique. Ce contraste est dû à la consommation non négligeable de médicaments, de désinfectants et autres composés chimiques dans les hôpitaux. Ces substances se retrouvent dans les eaux usées, résistent aux traitements d'épuration, puis terminent leur course dans les eaux de surface. En effet, ces traitements ne sont pas conçus pour retirer les molécules chimiques complexes, et donc elles sont rejetées avec l'effluent final. Certaines d'entre elles sont suspectées ou connues comme des perturbateurs endocriniens. Leur présence dans les eaux de surface entraîne des conséquences néfastes chez certains organismes et même chez l'humain.

Cet ouvrage relève les substances retrouvées dans les effluents hospitaliers du Québec. Parmi celles-ci, les hormones  $17\beta$ -estradiol et  $17\alpha$ -éthinyloestradiol, le mercure, le triclosan et le nonylphénol, tout comme les composés cytotoxiques, le cyclophosphamide, le méthotrexate, l'ifosfamide et le 5-fluorouracil sont reconnus pour être des perturbateurs endocriniens. Pour les retirer des effluents, des méthodes de réduction sont présentées, dont six technologies spécialisées de traitements des eaux usées. Elles sont analysées selon leur capacité à éliminer ces perturbateurs endocriniens. Toutefois, leur efficacité d'élimination varie d'une substance à l'autre.

En bref, il est suggéré d'établir un traitement multibarrière, comportant plus d'une technologie pour assurer le retrait complet des polluants. Néanmoins, cet ensemble de techniques est dispendieux. D'autres méthodes basées sur le principe de réduction à la source peuvent être appliquées telles qu'un contrôle plus serré des molécules actives acceptées, la promotion d'un mode de vie sain, l'éducation des différentes parties prenantes et la séparation des effluents hospitaliers et des urines.

## REMERCIEMENTS

Je désire d’abord remercier chaleureusement mon directeur d’essai, Marc Olivier, sans qui la réalisation de ce travail n’aurait pas vu le jour. Merci pour ton temps, tes conseils et ta souplesse.

Je tiens à remercier David Berryman et ses collègues du ministère de l’Environnement, du Développement durable et de la Lutte contre les changements climatiques d’avoir pris le temps et le soin de répondre à mes questions.

Je remercie le Centre universitaire de formation en environnement et développement durable de l’Université de Sherbrooke et mes professeurs de la maîtrise en environnement de m’avoir transmis leurs connaissances et leurs passions. Par ailleurs, je remercie les membres de l’AMEUS, qui par leurs discussions, leurs gestes et leur motivation me permettent de croire au potentiel d’un monde plus vert. Vous êtes tout simplement une source d’inspiration pour moi.

À tous mes collègues, amis et amies, vous êtes trop nombreux pour être tous nommés sur cette page, mais je vous suis reconnaissante d’avoir contribué, de près ou de loin, à faire de ma maîtrise en environnement, un épisode mémorable. Un merci particulier à mes merveilleuses colocataires, Audrey, Audrey-Anne et Claudie ainsi qu’à mon amie Gabrielle pour m’avoir encouragée, écoutée et soutenue au quotidien. Mon passage à Sherbrooke n’aurait pas été le même sans vous tous.

Les derniers remerciements, mais non les moindres s’adressent à ma famille, dont mon frère Martin et ma sœur Karine, pour leur soutien. Un merci tout spécial à mes parents, ma mère Nathalie et mon père Robert, pour des milliers de raisons, mais particulièrement pour leur appui accordé durant tout mon cheminement scolaire. Merci d’avoir toujours cru en moi et de m’avoir encouragé dans mes projets.

Finalement, je souhaite souligner l’aide que m’ont apportée Édith Boisvert et Gabrielle L. Lajoie dans l’écriture et la correction de cet essai.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	3
1.1 Définitions .....	3
1.2 Provenance des perturbateurs endocriniens .....	4
1.3 Effets des perturbateurs endocriniens .....	9
1.3.1 Système endocrinien.....	9
1.3.2 Effets sur la faune et la flore.....	10
1.3.3 Effets chez l'humain .....	11
1.4 Encadrement réglementaire .....	12
1.4.1 Encadrement réglementaire à l'international.....	12
1.4.2 Encadrement réglementaire au Canada.....	14
1.4.3 Encadrement réglementaire au Québec .....	16
1.4.4 Encadrement réglementaire dans les municipalités .....	18
1.5 Problématique .....	18
2. PORTRAIT DE LA SITUATION QUÉBÉCOISE .....	19
2.1 Organisations impliquées dans la prise d'échantillons d'eau de surface .....	19
2.1.1 Gouvernement du Canada.....	19
2.1.2 Gouvernement du Québec .....	19
2.1.3 Études scientifiques .....	20
2.2 Critères d'évaluation de la qualité de l'eau.....	20
2.2.1 CVAA.....	21
2.2.2 CVAC .....	21
2.2.3 VAFé .....	21
2.2.4 CFTP.....	22
2.3 Substances échantillonnées dans les eaux de surface .....	22
2.3.1 Liste des substances .....	22
2.3.1 Produits pharmaceutiques.....	25
2.3.2 Autres substances.....	26
3. PORTRAIT DES EAUX USÉES DES HÔPITAUX QUÉBÉCOIS .....	27
3.1 Caractéristiques des effluents hospitaliers .....	27
3.2 Matières résiduelles des hôpitaux .....	27
3.2.1 Matières résiduelles générales .....	28
3.2.2 Déchets pharmaceutiques .....	28
3.2.3 Déchets chimiques .....	28
3.2.4 Déchets radioactifs.....	29
3.2.5 Déchets électroniques .....	29
3.2.6 Matières recyclables .....	29
3.2.7 Déchets biomédicaux.....	29
3.3 Polluants émergents présents dans les rejets des hôpitaux de différents pays .....	30
3.4 Justification des polluants émergents retrouvés dans les effluents hospitaliers québécois.....	36
3.4.1 Données provenant d'études scientifiques.....	36
3.4.2 Banques de données canadiennes .....	37



3.4.3	Polluants retrouvés dans les eaux de surface .....	37
3.4.4	Maladies chroniques prédominantes.....	38
3.5	Liste exhaustive des polluants émergents dans les effluents hospitaliers du Québec.....	39
4.	PERTURBATEURS ENDOCRINIENS PROVENANT DES REJETS DES HÔPITAUX .....	40
4.1	Identification des PE.....	40
4.2	Propriétés physicochimiques des PE .....	41
4.3	Caractéristiques des PE.....	46
4.3.1	Antibiotiques.....	46
4.3.2	Cytostatiques.....	47
4.3.3	Hormones stéroïdiennes.....	48
4.3.4	Triclosan .....	49
4.3.5	Mercure.....	50
4.3.6	Nonylphénol .....	52
5.	TECHNIQUES DE RÉDUCTION DES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS.....	54
5.1	Mesure de réduction à la source .....	54
5.1.1	Toilette noMIX.....	54
5.1.2	Sac à urine.....	55
5.2	Outil multicritère.....	57
5.3	Composantes d'évaluation.....	58
5.3.1	Écotoxicité.....	58
5.3.2	Hormones stéroïdiennes.....	58
5.3.3	Triclosan et nonylphénol .....	59
5.3.4	Cytostatiques.....	59
5.3.5	Effet bactéricide.....	59
5.4	Techniques spécialisées de traitement des eaux .....	59
5.4.1	Filtration sur charbon activé .....	60
5.4.2	Osmose inversée .....	61
5.4.3	Ozonation.....	62
5.4.4	Traitement UV .....	64
5.4.5	Oxydation de Fenton.....	65
5.5	Comparaison des différentes technologies.....	67
5.6	Traitement multibarrière.....	68
6.	RECOMMANDATIONS.....	70
6.1	Traitement local des effluents hospitaliers .....	70
6.2	Traitement multibarrière.....	70
6.3	Séparation des urines .....	70
6.4	Sensibilisation des parties prenantes.....	71
6.4.1	Sensibilisation des employés .....	71
6.4.2	Sensibilisation des patients .....	71
6.5	Initiatives gouvernementales .....	71
6.5.1	Évaluation environnementale .....	71
6.5.2	Promotion d'un mode de vie sain .....	72

CONCLUSION .....	73
LISTE DES RÉFÉRENCES .....	75
BIBLIOGRAPHIE .....	92
ANNEXE 1 – SYNTHÈSE DES PARTIES PRENANTES IMPLIQUÉES DANS L'ÉMISSION DES PE DANS LES EFFLUENTS HOSPITALIERS.....	96
ANNEXE 2 – POURCENTAGE DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR PROVINCE EN 2011.....	97
ANNEXE 3 – POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES PPSP, HORMONES ET AUTRES SUBSTANCES DANS LES RÉGIONS DE L'ESTRIE ET DE LA MONTÉRÉGIE .....	98
ANNEXE 4 - POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE SURFACE POUR LE SUIVI DES PPSP ET HORMONES .....	99
ANNEXE 5 - POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE SURFACE POUR LE SUIVI DES PPSP, DES HORMONES ET AUTRES SUBSTANCES.....	100
ANNEXE 6 – POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES MÉTAUX BARYUM, BÉRYLLIUM, FER ET CHROME DANS LES COURS D'EAU DU QUÉBEC.....	101
ANNEXE 7 - POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES MÉTAUX CADMIUM, CUIVRE, PLOMB, ZINC DANS LES COURS D'EAU DU QUÉBEC .....	102
ANNEXE 8 - FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DU CVAC POUR LES NPE.....	103
ANNEXE 9 – MÉDICAMENTS UTILISÉS EN HÔPITAUX POUR TRAITER LES PRINCIPALES MALADIES CHRONIQUES AFFECTANT LA POPULATION DU QUÉBEC.....	104
ANNEXE 10 – GRILLES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ÉLIMINATION DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENTS DES EAUX USÉES .....	106

## LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1.1	Origine des perturbateurs endocriniens qui rejoignent l'environnement.....	7
Figure 1.2	Cycle de vie d'un produit pharmaceutique.....	8
Figure 1.3	Composants du système endocrinien.....	9
Figure 1.4	Présentation des étapes de mise en marché des médicaments au Canada .....	15
Figure 5.1	Présentation d'une toilette NoMix et son réservoir .....	55
Figure 5.2	Sacs d'urine lors d'une campagne de séparation des urines.....	56
Figure 5.3	Présentation des niveaux d'évaluation des critères.....	57
Figure 5.4	Présentation du principe de l'osmose inversée .....	61
Figure 5.5	Présentation du traitement à l'O <sub>3</sub> .....	62
Figure 5.6	Réaction de l'O <sub>3</sub> avec la forme ionisée d'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	63
Figure 5.7	Réaction de l'O <sub>3</sub> dans une solution aqueuse en présence de rayons UV .....	63
Figure 5.8	Réaction radicalaire de la décomposition du H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	64
Figure 5.9	Réaction radicalaire de la décomposition du H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> par les ions ferreux .....	65
Figure 5.10	Traitement des eaux usées par procédé de Fenton.....	66
Figure 5.11	Réduction du Fe <sup>3+</sup> par les rayons UV .....	66
Figure 5.12	Présentation des résultats des six traitements avancés selon les six composantes.....	67
Figure 5.13	Combinaisons de traitements des eaux usées .....	69
Tableau 1.1	Famille chimique ayant des effets connus sur le système endocrinien.....	5
Tableau 2.1	Polluant émergent échantillonné dans les eaux de surface du Québec.....	23
Tableau 3.1	Polluant émergent présent dans les effluents des hôpitaux de différents pays .....	30
Tableau 3.2	Liste des principaux polluants émergents présents dans les eaux usées des hôpitaux du Québec .....	39
Tableau 4.1	Propriété physicochimique des PE .....	43

## LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

AA	Attestation d'assainissement
ACTH	Hormone adrénocorticotrope
ADH	Hormone antidiurétique
AM	Autorisation de mise en marché
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOX	Composés organiques absorbables
ASSTSAS	Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales
atm*l/mole	Atmosphère * litre par mole
BA	Boues activées
BBP	Butyl benzyl phtalate
BDPP	Base de données sur les produits pharmaceutiques
BEI ERE	Bureau d'études industrielles énergies renouvelables et environnement
BEUC	<i>European Consumer Organisation</i>
BHA	Polybromobiphényles
BHT	Butylhydroxytoluène
BPC	Biphényles polychlorés
BVG	Bureau du vérificateur général du Canada
CA	Certificat d'autorisation
CAG	Carbone activé granulaire
CAP	Carbone activé en poudre
CCHST	Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CCME	Conseil canadien des ministres de l'Environnement
CCSN	Commission canadienne de la sûreté nucléaire
CFTP	Critères de qualité pour la protection de la faune terrestre piscivore
ChemSec	International Chemical Secretariat
CISMeF	Catalogue et index des sites médicaux de langue française
CL <sub>50</sub>	Concentration létale 50
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
CRD	Construction, rénovation et démolition
CSEO	Concentration sans effets observables
CVAA	Critère de vie aquatique aigüe
CVAC	Critère de vie aquatique chronique
DBO	Demande biochimique en oxygène
DBO <sub>5</sub> C	Demande biochimique en oxygène après 5 jours
DBP	Phtalate de dibutyle
DCCD	2,8-dichlorodibenzodioxine
DCO	Demande chimique en oxygène

DDT	Dichlorodiphényltrichloroétane
DEET	N, N-Diéthyl-3-méthylbenzamide
DEHP	Di-éthylhexyl phtalate
DEMEAU	Demonstration of promising technologies to adress emerging pollutants in water and waste water
DEP	Diéthyl phtalate
E1	Estrone
E2	17 $\beta$ -estradiol
E3	Estriol
EC	Environnement Canada
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EDKB	Endocrine Disruptor Knowledge Base
EDSP	Endocrine Disruptor Screening Program
EE2	17 $\alpha$ -éthynylestradiol
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Fer
FHUEA	Acide 2H-perfluoro-octénoïque
FNDAE	Fonds national pour le développement des adductions d'eau
FQPA	<i>Food Quality Protection Act</i>
FSH	Hormone folliculo-stimulante
GC	Gouvernement du Canada
g/mol	Gramme par mole
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HEAL	Health and Environment Alliance
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peroxyde d'hydrogène
ICRT	<i>International Consumer Research and Testing</i>
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRS	Institut national de la recherche scientifique
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
K <sub>d</sub>	Constante de dissociation
Kg	Kilogramme
K <sub>oc</sub>	Coefficient de partage carbone organique-eau
K <sub>oe</sub>	Coefficient de partage octanol-eau
Km	Kilomètre
LCPE	Loi canadienne de la protection de l'environnement
LH	Hormone lutéinisante
LQE	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>
Log	logarithme
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Agriculture
MASSF	Ministère des Affaires sociales et de la Santé

MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MDEQ	<i>Michigan Department of Environmental Quality</i>
MEEMF	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer de la France
MES	Matières en suspension
mg/l	Milligramme par litre
mm de Hg	Millilitre de mercure
MPOC	Maladie pulmonaire obstructive chronique
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
MTBE	Éther de butyle tertiaire
MTÉS	Ministère de la Transition écologique et solidaire
NCBI	National Center for Biotechnology
ng/l	Nanogramme par litre
NIH	<i>National Institutes of Health</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
noPILLS	<i>No Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources</i>
NP	Nonylphénol
NPE	Nonylphénol éthoxylé
NTP	<i>National Toxicology Program</i>
O <sub>3</sub>	Ozone
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OER	Objectifs environnementaux de rejet
OH•	Ion hydroxyle
OI	Osmose inversée
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	Organisation non gouvernementale
OQLF	Office québécois de la langue française
PADEM	Programme d'assainissement des eaux municipales
PAEQ	Programme d'assainissement des eaux du Québec
PAO	Procédé d'oxydation avancée
PBB	Polybromobiphényle
PBDE	Polybromodiphényle éthers
PE	Perturbateur endocrinien
PFHxS	Sulfonate de perfluorohexane
PFNA	Acide perfluorononanoïque
PFOA	Acide perfluorooctanoïques
PFOS	Sulfonate de perfluorooctane
PFOSA	Sulfonamide de perfluorooctane
PFOUEA	Acide 2H-perfluoro-décénoïque

PFUDa	Acide perfluoroundécanoïque
PGPC	Plan de gestion des produits chimiques
PILLS	Pharmaceutical Input and Elimination form Local Sources
PKa	Constante de dissociation acide
PMSD	Programme de monitoring et de surveillance des eaux douces
PNRPE	Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PPSP	Produits pharmaceutiques et de soins personnels
PRRI	Programme de réduction des rejets industriels
RBM	Réacteur biologique à membrane
RAMQ	Régie de l'assurance maladie du Québec
REACH	Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques
REIMR	<i>Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles</i>
RES	Réseau environnement santé
RIVM	<i>Dutch National Institute for Public Health and the Environment</i>
RMD	Règlement sur les matières dangereuses
ROMAEU	Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées
SIET	Syndicat des industriels des équipements du traitement et de l'analyse de l'eau
SIGES	Système d'information pour la gestion des eaux souterraines
SIPIBEL	pilote de Bellecombe
TCEP	Phosphate de tris (2-chloroéthyle)
TDAH	Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité
TiO <sub>2</sub>	Dioxyde de titane
Tox21	Toxicology in the 21 <sup>st</sup> Century
UE	Union européenne
µg/kg	Microgramme par kilogramme
µg/l	Microgramme par litre
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
US FDA	<i>United States Food and Drug Administration</i>
UV	Ultraviolet
VAF <sub>e</sub>	Valeur aigüe à l'effluent
WECF	<i>Women in Europe for a Common Future</i>

## LEXIQUE

Activité estrogénique	Concentration en substances variées, ayant des propriétés hormono-mimétiques, pouvant interférer dans l'action des hormones naturelles et perturber l'équilibre hormonal de certains organismes. (Université de Strasbourg, 2017)
Cancers hormonaux dépendants	Dont le développement est lié à la présence de certaines hormones. (Conseil international de la langue française, 1978)
Contaminant	Substance physique, chimique ou biologique qui engendre une concentration locale plus élevée que la normale. Un contaminant peut être d'origine naturelle ou provenir d'activités anthropiques. La présence de contaminant ne permet pas de supposer qu'il y a un effet précis, contrairement au terme pollution. (Olivier, 2015)
Contaminant émergent	Contaminant dont la présence n'a été détectée que récemment. (Sauvé et Desrosiers, 2014)
Cryptorchidie	Absence d'une ou des deux testicules dans le scrotum. (Office québécois de la langue française [OQLF], 1996)
DBO	Quantité d'oxygène nécessaire à la décomposition biologique des matières organiques dans l'eau à un moment donné. (Commission des communautés européennes, 1984a)
DCO	Quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder complètement la matière organique. (Commission des communautés européennes, 1984b)
Déchet anatomique	Déchet humain ou animal constitué d'une partie du corps ou d'un de ses organes, à l'exception des phanères, du sang et des liquides biologiques. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 2017h)
Déchet non anatomique	Un déchet constitué d'un des éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"><li>- Un objet piquant, tranchant cassable mis en contact avec du sang, un liquide ou un tissu biologique, provenant de soins médicaux, dentaires ou vétérinaires ou d'un laboratoire de biologie médicale ou vétérinaire, ou de l'exercice de la thanatopraxie</li><li>- Un tissu biologique, une culture cellulaire, une culture de microorganismes ou le matériel en contact avec ce tissu ou cette culture, provenant d'un laboratoire de biologie médicale ou vétérinaire</li><li>- Un vaccin de souche vivante</li><li>- Un contenant de sang ou du matériel imbibé de sang provenant de soins médicaux, d'un laboratoire de biologie médicale ou de l'exercice de la thanatopraxie. (MDDELCC, 2017h)</li></ul>



Endométriose	Maladie gynécologique caractérisée par la présence de tissu de l'endomètre en dehors de l'utérus, soit sur les ovaires, les trompes ou les ligaments qui supportent l'utérus et aussi sur les organes avoisinants comme la vessie et l'intestin. (Association des obstétriciens et gynécologues du Québec, 2017)
Hypolipémiant	Médicament réduisant le taux de lipides dans le sang. (OQLF, 2005)
Hypospadias	Anomalie du canal urinaire se caractérisant par l'ouverture de l'urètre vers la face intérieure du pénis. (OQLF, 2005)
In silico	Méthode d'étude effectuée au moyen de calculs complexes informatisés ou de modèles informatiques. (Dictionnaire Larousse, s.d.)
Perturbateur endocrinien	Substance ou mélange de substances, qui altère les fonctions du système endocrinien et de ce fait induit des effets néfastes dans un organisme intact, chez sa progéniture ou au sein de (sous)-populations. (Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail [ANSES], 2017)
Perturbateur endocrinien potentiel	Substance ou mélange exogène, possédant des propriétés susceptibles d'induire une perturbation endocrinienne dans un organisme intact, chez sa progéniture ou au sein de (sous)- populations. (ANSES, 2017)
Phéopigment	Pigment chlorophyllien dégradé provenant des organismes phytoplanctoniques en suspension dans l'eau. (Eau France, 2016)
Polluant	Substance physique, chimique ou biologique d'origine anthropique qui provoque un effet néfaste démontré. (Chèvre et Erkman, 2011)
Polluant émergent	Substance retrouvée dans l'environnement avec l'amélioration de la surveillance et des techniques analytiques. Ils se caractérisent par leurs effets à long terme sur la santé, dû à leur accumulation et à leur persistance, même à très faibles doses. (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines [SIGES] du bassin Rhin-Meuse, 2016)
Vitellogenèse	Élaboration des réserves ovulaires (vitellus) au cours du grand accroissement de l'ovocyte. (Librairie Flammarion et cie, 1982)

## INTRODUCTION

Le 20<sup>e</sup> siècle est marqué par les percées scientifiques et l'évolution rapide des technologies qui accélère conséquemment le développement des activités humaines, industrielles et urbaines. (Anastakis, 2006) Les progrès techniques ont engendré l'apparition de plus de 100 000 produits chimiques sur le marché mondial provenant de différents domaines, tels que le domaine médical, alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, textile, industriel, etc. (Programme des Nations Unies pour l'environnement [PNUE], s. d.) L'accumulation de ces composés et leur impact à long terme dans l'environnement ne sont pas connus. Ils rejoignent les eaux de surface par ruissèlement, par déversement ou par le biais des rejets des eaux usées traitées. Selon cette dernière, les substances se retrouvent dans les réseaux d'eau usée principalement par les excréctions humaines, le lavage des équipements et le lavage de peaux. Bien que des systèmes d'assainissement des eaux soient en place dans la majorité des grandes villes du Québec, ils sont seulement conçus pour retirer le phosphore, l'azote et les matières organiques. Ainsi, les composés chimiques complexes sont rejetés avec l'effluent final dans les eaux de surface. (Sauvé, 2012)

Plus particulièrement, les effluents hospitaliers injectent de grandes concentrations de produits pharmaceutiques et de bactéries multirésistantes aux réseaux des eaux usées municipales. Ceci est dû à l'importante consommation de médicaments, de désinfectants et autres composés chimiques dans les hôpitaux. (Verlicchi, Galletti, Petrovic et Barceló, 2010) Par ailleurs, les médicaments utilisés en centres hospitaliers sont spécialisés et leur contact avec une population saine peut s'avérer préoccupant. En effet, certains d'entre eux sont suspectés ou connus pour interférer avec le système endocrinien. Dans ce cas, ils peuvent engendrer plusieurs effets néfastes, comme le développement de cancers hormonaux-dépendant, le diabète, le syndrome métabolique, l'Alzheimer, le Parkinson et le Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH). (Organisation mondiale de la santé [OMS] et PNUE, 2012)

Cet essai a pour objectif de proposer une stratégie d'actions afin de limiter la concentration de perturbateurs endocriniens (PE) dans les eaux de surface québécoise. Plus spécifiquement, il vise à dresser le portrait des polluants émergents dans les eaux de surface ainsi que dans les rejets hospitaliers du Québec. Il a également pour objectif de mettre en lumière les PE retrouvés dans les effluents des hôpitaux. Par la suite, il vise à évaluer six technologies de traitement des eaux selon leur capacité à éliminer ces PE. Le dernier objectif spécifique consiste à émettre des recommandations pour contrer l'accumulation de ces PE dans les eaux de surface.

Pour atteindre ces objectifs et produire une analyse de qualité, une documentation pertinente, crédible et représentative de la réalité québécoise a été utilisée. Les sources ont été choisies en fonction de leur origine, de leur authenticité et de leur actualité. Ainsi, cet essai se base sur la consultation de plusieurs articles

scientifiques et de documents d'organisations gouvernementales et internationales, comme le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), le gouvernement du Canada (GC), le *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), le PNUE et l'OMS. Par ailleurs, les publications de trois projets européens d'envergure étudiant les caractéristiques des rejets hospitaliers et les méthodes d'élimination des résidus pharmaceutiques ont été consultées. Ces projets sont le *Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources* (PILLS), le *No Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources* (noPILLS) et l'Observatoire du site pilote de Bellecombe (SIPIBEL).

Le travail suivant se divise en six chapitres. Le premier expose la mise en contexte entourant la présence de polluants émergents dans l'environnement. D'abord, la terminologie des termes utilisés est présentée. Puis, plusieurs aspects des PE sont traités, comme leurs provenances, leurs impacts sur la faune, la flore et l'humain ainsi que leur encadrement réglementaire au niveau international, national, provincial et municipal. Le deuxième chapitre dresse le portrait des polluants émergents retrouvés dans les eaux de surface du Québec, à partir des données scientifiques et gouvernementales préalablement détaillées. Le troisième chapitre expose une liste exhaustive des polluants émergents présents dans les eaux usées des hôpitaux québécois. Elle se base principalement sur les résidus pharmaceutiques listés au chapitre précédent et ceux recensés dans les rejets hospitaliers à travers le globe. Le quatrième chapitre met en lumière les PE parmi les polluants émergents présents dans les rejets hospitaliers. Leurs propriétés physicochimiques, leurs usages tout comme leurs comportements dans les eaux usées et de surface sont détaillés. Le cinquième chapitre présente des techniques afin de réduire l'accumulation des PE identifiés dans les eaux de surface. Celles-ci comprennent des mesures de réduction à la source, comme la ségrégation des flux par toilettes adaptées et la récupération directe des urines. Elles incluent également des technologies avancées de traitements des eaux. Ces dernières sont analysées en fonction de leur capacité à retirer les PE des eaux usées. Puis, le chapitre six émet sept recommandations dans le but de réduire l'apport en PE dans les effluents des hôpitaux et par le fait même dans les eaux de surface. Finalement, une conclusion récapitule les principaux constats articulés à l'intérieur de cet essai.

## 1. MISE EN CONTEXTE

Ce chapitre relate le contexte entourant la présence de polluants émergents dans l'environnement. Tout d'abord, la terminologie des termes utilisés dans le cadre de cet essai est exposée. Par la suite, la provenance des PE, leurs impacts ainsi que leurs encadrements réglementaires sont abordés.

### 1.1 Définitions

Plusieurs termes sont utilisés dans la littérature pour désigner des substances chimiques qui s'accumulent dans l'environnement. Les termes « polluant émergent », « polluant d'intérêt émergent », « contaminant émergent », « contaminant d'intérêt émergent », « micropolluant », « substances traces » et « xénobiotique » sont largement exploités. (Chèvre et Erkman, 2011) D'un article à l'autre, leur terminologie diffère sensiblement. Cette section définit les termes employés dans le cadre de cet essai. À priori, une distinction doit être faite entre les termes « contaminant » et « polluant ».

D'un côté, un contaminant peut être d'origine naturelle ou provenir d'activités anthropiques. C'est une substance physique, chimique ou biologique dont la concentration dans un lieu et à un temps donné est plus élevée que dans l'environnement normal. Cette augmentation n'engendre pas d'effet précis. (Olivier, 2015) De l'autre côté, un polluant se définit comme une substance physique, chimique ou biologique, d'origine anthropique, qui provoque un effet néfaste démontré. Il fut défini en 1983 par le chercheur Frank Moriarty dans l'un des premières monographies portant sur l'écologie. (Chèvre et Erkman, 2011) Trois conditions permettent de reconnaître un polluant :

- Il est en concentration plus élevée que la normale,
- Il affecte l'environnement de manière directe ou indirecte,
- Son origine est anthropique. (Olivier, 2015)

Comme l'essai s'intéresse aux substances chimiques ayant des impacts connus ou potentiels sur l'environnement, le terme polluant émergent est employé. Il se définit comme suit :

« Une substance que l'on trouve dans l'environnement au fur et à mesure de l'amélioration de la surveillance et des techniques analytiques. Elle se caractérise par des effets à long terme sur la santé en raison de leur accumulation et de leur persistance, même à très faibles doses. » (Système d'information pour la gestion des eaux souterraines [SIGES] du bassin Rhin-Meuse, 2016)

C'est la récente prise de conscience de leur présence dans l'environnement qui leur faut le qualificatif de substances émergentes. Cette découverte est attribuable à l'amélioration des techniques analytiques et l'augmentation des suivis de la qualité des eaux de surface par les différentes instances gouvernementales et

organisations non gouvernementales (ONG). Par ailleurs, l'accumulation et la persistance des polluants émergents dans l'environnement s'avèrent inquiétantes à l'égard des impacts potentiels qu'ils peuvent engendrer sur la santé et l'environnement. (SIGES du bassin Rhin-Meuse, 2016)

Parmi les polluants émergents, plusieurs sont suspectés ou connus pour affecter le système endocrinien. Ces substances sont définies comme des PE. (OMS et PNUE, 2012) Il n'existe pas de définition internationale pour les PE et plusieurs organisations ont développé la leur. En 1996, l'Union européenne (UE) a établi une première définition reprise et peaufinée avec les années. Toutefois, la définition de l'OMS est la plus utilisée, soit qu'un PE est :

« Une substance ou un mélange exogène de substances qui altère les fonctions du système endocrinien et de ce fait induit des effets néfastes dans un organisme intact, chez sa progéniture ou au sein de (sous)- populations. » (Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail [ANSES], 2017)

En complément des PE démontrés, l'OMS définit comme suit les PE potentiels :

« Un perturbateur endocrinien potentiel est une substance ou un mélange exogène, possédant des propriétés susceptibles d'induire une perturbation endocrinienne dans un organisme intact, chez sa progéniture ou au sein de (sous)- populations. » (ANSES, 2017)

Un PE peut être d'origine anthropique ou d'origine synthétique. Ce dernier signifie que la substance existe dans la nature, mais sa concentration mondiale est amplifiée par la production industrielle, comme c'est le cas de certaines hormones. (Chaussinand, 2015)

Ainsi, le terme « polluant émergent » est utilisé pour désigner les substances chimiques exogènes dont les effets sur les écosystèmes sont démontrés ou suspectés. Puis, le terme « perturbateur endocrinien » représente les polluants émergents ayant des impacts connus ou soupçonnés sur le système endocrinien.

## **1.2 Provenance des perturbateurs endocriniens**

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, les progrès technologiques ont permis la production industrielle de molécules retrouvées dans l'environnement, mais aussi la création de nouveaux composés qui n'existent pas dans la nature. (Chèvre et Erkman, 2011) Ces molécules sont utilisées dans différents types de produits, comme les détergents, les produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP), les médicaments, les aliments, les plastiques, les vêtements, les électroménagers, etc. Ces produits, symboles de la modernité, se sont rapidement introduits dans toutes les sphères de la vie quotidienne. Lors de la création de ces molécules, personne ne se doutait de l'impact potentiel qu'elles pourraient avoir sur la santé. Elles permettaient de concevoir des objets ou produits utiles aux occupations de la population et c'est ce qui a motivé leur fabrication. Ce n'est que plusieurs années plus tard que les effets néfastes de ces molécules se sont fait

sentir. Cette prise de conscience revient à la zoologiste et biologiste américaine, Rachel Carson. Son livre *Silent Spring*, publié en 1962, dénonce les impacts des pesticides sur l'environnement, entre autres les effets du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) sur les populations d'oiseaux. (Reeves, 2013; Sauvé et Desrosiers, 2014; US EPA, 2017a) Pour les médicaments, cette remarque arrive en 1994, alors que Stan et ses collaborateurs trouvent de l'acide clofibrique, un métabolite d'une sorte d'hypolipémiant utilisé pour réduire le taux de cholestérol dans le sang, dans l'eau potable de la ville de Berlin. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs [MDDEP], 2011)

Le PNUE dénombre actuellement plus de 100 000 substances chimiques sur le marché mondial, alors qu'au Canada ce nombre s'élève à 70 000. (MDDELCC, 2017a) Seulement 800 d'entre elles sont connues ou suspectées d'influencer le système endocrinien. Il faut toutefois souligner que les impacts potentiels sur la santé n'ont pas encore été étudiés pour la majorité de ces molécules. Le tableau 1.1 expose les principales familles chimiques connues pour leurs effets sur le système hormonal. (OMS et PNUE, 2012)

**Tableau 1.1 Famille chimique ayant des effets connus sur le système endocrinien** (compilé de : Bureau du vérificateur général du Canada [BVG], 2011; International Chemical Secretariat [ChemSec], 2015; Département cancer et environnement, 2017; Ghisari et Bonefeld-Jorgensen, 2009; Jobling et al., 2004; Oaks, 2004; Sauvé et Desrosiers, 2014; Réseau environnement santé [RES], ChemSec, Women in Europe for a Common Future [WECF] et Health and Environment Alliance [HEAL], 2011)

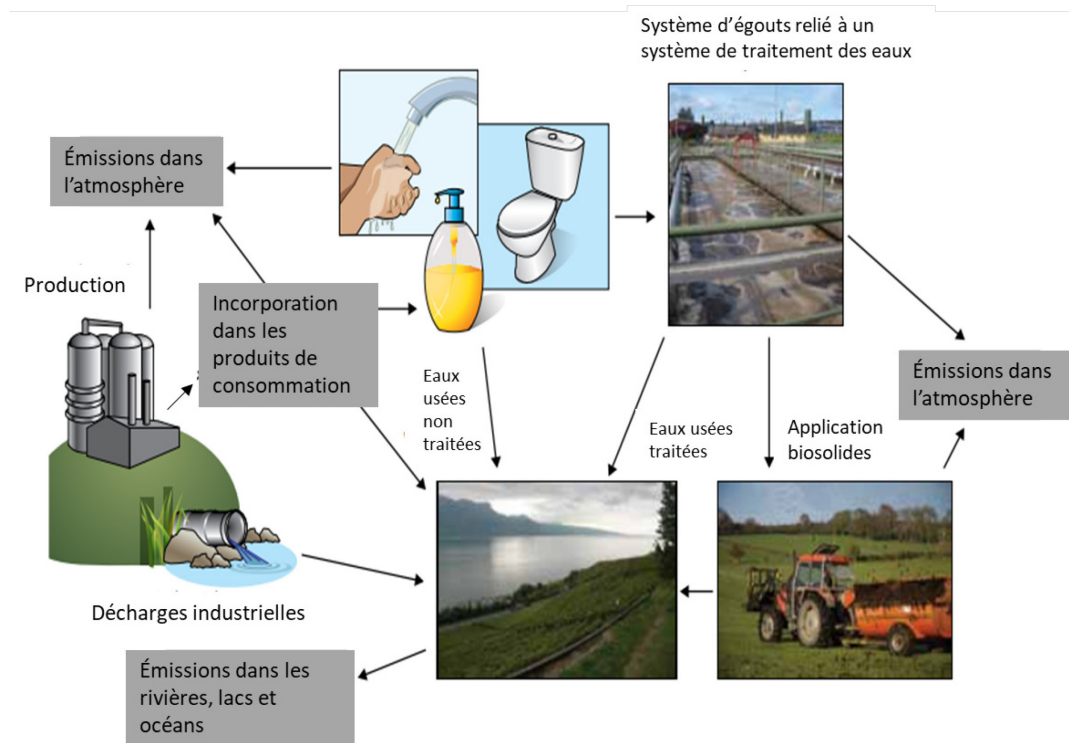
Famille chimique	Source potentielle	Exemple	Hormone affectée
<b>Phtalate</b>	Plastiques, cosmétiques, nettoyeurs	Phtalate de dibutyle (DBP)	Estrogène et androgène
		Butyl benzyl phtalate (BBP)	Estrogène
		Diéthylhexyl phtalate (DEHP)	Estrogène et androgène
		Diéthyl phtalate (DEP)	Estrogène
<b>Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)</b>	Sources de combustion : fumée de cigarette, émission des moteurs diesel, incendies	Benzo (a) pyrène	Androgène
<b>Composé organohalogéné persistant</b>	Fabrication de pâtes et papiers, incinération de déchets	Dioxine et furane	Estrogène
	Transformateurs électriques	Biphényles polychlorés (BPC), Arochlor	Estrogène, androgène, thyroïdienne
	Retardateurs de flamme, plastique, textile, équipement électrique	Polybromobiphényles (PBB)	Estrogène, thyroïdienne
	Retardateur de flammes, mousses pour les mobiliers, tapis, équipements électroniques	Polybromodiphényles éthers (PBDE)	Thyroïdienne
<b>Pesticide</b>	Résiduels de stockage, pollution permanente, agriculture, aliments, nettoyages urbains, jardins	DDT	Estrogène, Androgène
		Dieldrine,	Estrogène
		Kepone (Chlordécone)	Estrogène

**Tableau 1.1 Famille chimique ayant des effets connus sur le système endocrinien (suite)**

Famille chimique	Source potentielle	Exemple	Hormone affectée
<b>Pesticide</b>	Résiduels de stockage, pollution permanente, agriculture, aliments, nettoyages urbains, jardins	Altrazine	Androgène Hormone LH
		Lindane	Estrogène et androgène
		Fénarimol	Estrogène
		Fénéthrothion	Estrogène
		Procymidone	Androgène
		Prodiamine	Thyroïdienne
		Vinclozolin	Androgène
<b>Dérivés phénoliques</b>	Désinfectants, plastiques, cosmétiques, produits de soins personnels, filtre UV	Bisphénol A	Estrogène
		Bisphénol F	Estrogène
		Benzophénone	Estrogène
		Halogénophénol	Thyroïdienne, Hormones sexuelles
		Parabène	Spermatozoïde, Estrogène Thyroïdienne
	Teinture, traitement cuir, médicaments, pesticides, combustion du diesel	4-nitrophénol	Estrogène, Androgène
<b>Médicaments</b>	Caoutchouc, résines, cosmétiques, produits pharmaceutiques, colorations pour cheveux	Résorcinol	Thyroïdienne Métabolisme du glucose
	Antibiotiques, antiinflammatoire, hormone, pilule contraceptive, traitements du cancer	17 $\alpha$ -éthinyloestradiol (EE2) Estrogènes naturels et synthétiques	Estrogène
<b>Autres</b>	Additif alimentaire, produits d'hygiène, cosmétique, médicaments	Hydroxyanisole butylé (BHA) Butylhydroxytoluène (BHT)	Estrogène Thyroïdienne Androgène
	Détergents, plastiques, pesticides	Nonylphénol (NP), nonylphénol éthoxylé (NPE)	Estrogène
	Filtre ultraviolet (UV)	Camphre	Progestérone, thyroïdienne
	Peinture, tannage du cuir	Métam natrium	Affecte le développement
	Nettoyage à sec	Perchloroéthylène	Acétylcholine Canaux calciques
	Essence, solvant d'extraction	Éther de méthyle et de butyle tertiaire (MTBE)	Estrogène

Ces substances s'accumulent de plusieurs façons dans les eaux de surface, comme illustrée à la figure 1.1. D'une part, une certaine proportion de matières proviennent des rejets de nombreuses activités industrielles situées à proximité des cours d'eau. D'autre part, les substances chimiques peuvent rejoindre les eaux de surface par ruissèlement, comme les pesticides utilisés dans les champs agricoles et les excréments d'animaux, tels que le bétail, les volailles et les poissons élevés en pisciculture. Ces excréments peuvent contenir des médicaments qui auraient été intégrés à la nourriture des bêtes dans le but d'accélérer leur croissance, prévenir ou traiter certaines maladies. (Sauvé, 2012) Par ailleurs, d'autres molécules incorporées

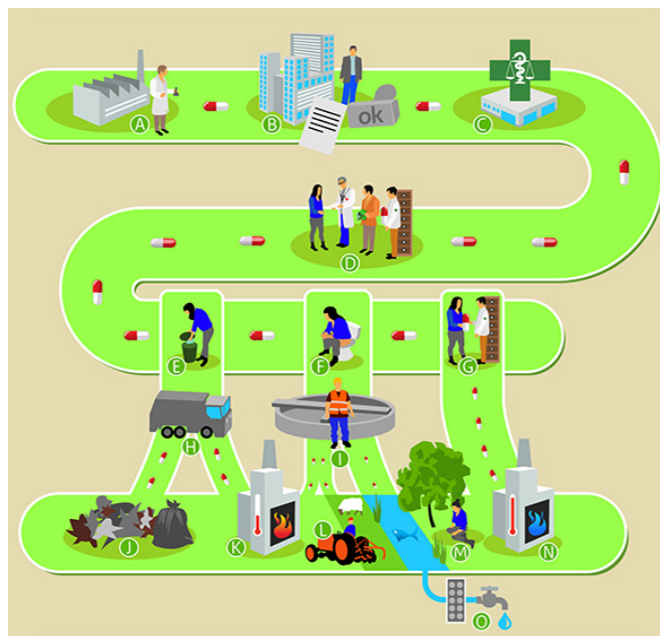
dans différents produits de consommation se retrouvent dans l'environnement par le biais des eaux usées. En effet, les composés sont utilisés par l'être humain puis rejetés dans les réseaux d'eaux usées par excrétion, lavage de peau ou lavage d'équipement. Par exemple, dans le cas des antibiotiques prescrits, entre 30 % et 90 % de la dose n'est pas absorbée, et donc elle est éliminée intacte du corps humain. Ainsi, plusieurs médicaments et leurs métabolites se retrouvent dans le réseau des eaux usées via l'urine et les excréments. (Alcock, Sweetman et Jones, 1999)



**Figure 1.1 Origine des perturbateurs endocriniens qui rejoignent l'environnement** (modifié de : OMS et PNUE, 2012)

Plus spécifiquement, la figure 1.2 montre le cycle de vie des médicaments. Ce sont des substances préoccupantes puisqu'elles ont été conçues pour persister longtemps dans l'organisme afin de produire l'effet désiré. Particulièrement, les molécules hydrophiles dont l'affinité avec l'eau rend plus difficile leur retrait par les traitements d'épuration. C'est le cas des produits de contrastes pour l'imagerie par rayon X, des cytostatiques et des antibiotiques. (Collette-Bregand, James, Munshy, et Bocquené, 2009) La figure 1.2 illustre les trois principales manières d'éliminer les médicaments, soit par leur rejet non recommandé avec les ordures ménagères, par leur excrétion ou en les rapportant à la pharmacie, qui assure ainsi leur élimination de façon adéquate. (Dutch National Institute for Public Health and the Environment [RIVM], s.d.) Leur accumulation dans les eaux de surface peut être influencée par les différentes parties prenantes, détaillées à l'annexe 1.





**Figure 1.2 Cycle de vie d'un produit pharmaceutique** (tiré de : RIVM, s.d.)

Leur rejet dans les eaux usées peut s'avérer problématique, car elles risquent fortement de rejoindre l'environnement. En effet, à travers le monde, c'est plus de 80 % des eaux usées qui sont rejetées dans les cours d'eau sans traitement. (Nations Unies, 2017) Alors qu'au Québec, près de 99,1 % des eaux usées sont traitées (Annexe 2). (GC, 2011) Toutefois, les stations d'épuration ont été conçues pour réduire la concentration de phosphore, d'azote et de matières organiques. Ainsi, les divers composés chimiques exogènes rejoignent tout de même les eaux de surface. (Sauvé, 2012)

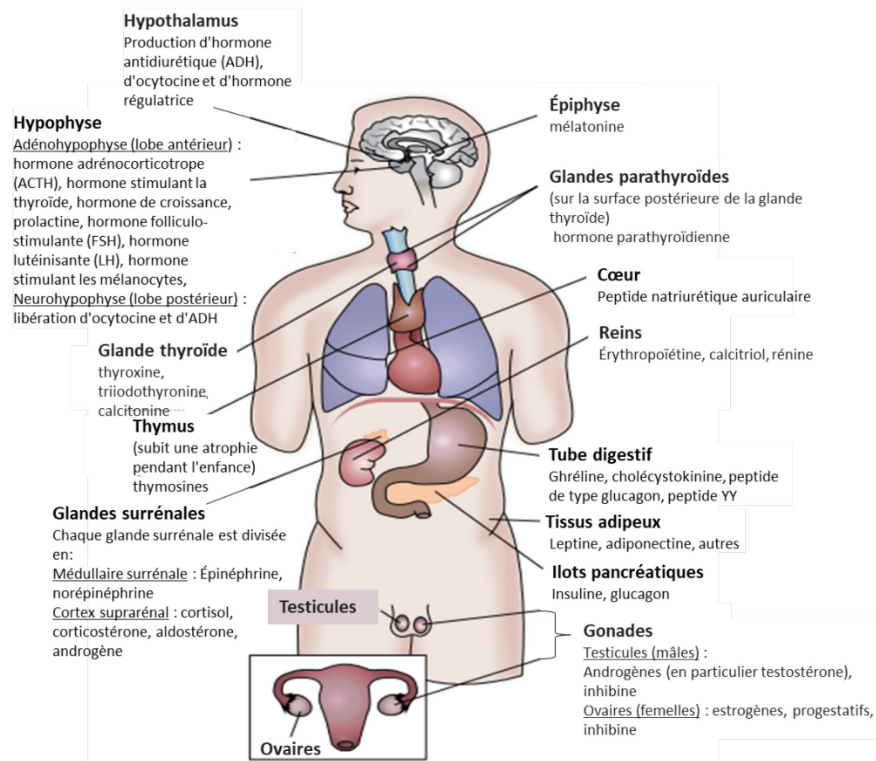
Une fois dans l'environnement, les substances réagissent selon leurs propriétés physicochimiques. Certaines d'entre elles ont tendance à se dégrader en métabolites. Ces derniers peuvent s'avérer encore plus toxiques que les composés mères. Alors que d'autres peuvent s'accumuler et s'intégrer dans la chaîne alimentaire. (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], 2017a; OMS et PNUE, 2012; Sauvé, 2012) En 2006, ECCC dénombrait déjà plus d'une vingtaine de PPSP dans les eaux du fleuve Saint-Laurent. (ECCC, 2009)

### 1.3 Effets des perturbateurs endocriniens

Cette sous-section présente le fonctionnement du système endocrinien, les impacts reliés à l'exposition des PE sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la santé humaine.

#### 1.3.1 Système endocrinien

La figure 1.3 présente les organes et les principales hormones impliquées dans les activités du système endocrinien.



**Figure 1.3 Composants du système endocrinien** (modifié de : OMS et PNUE, 2012)

Dans l'organisme, le système endocrinien et le système nerveux travaillent de pair afin de coordonner les activités cellulaires. Pour ce faire, le système endocrinien influence les activités cellulaires par l'intermédiaire d'hormones, qui agissent comme des messagers chimiques. Ces dernières sont relâchées par des cellules et se mettent à la recherche de récepteurs avec lesquels elles ont une affinité. La liaison entre une hormone et son récepteur entraîne divers processus biochimiques, permettant la régulation du métabolisme cellulaire, la régulation de l'équilibre énergétique et l'organisation de la réponse cellulaire aux facteurs de stress. Ainsi, le système endocrinien est impliqué dans la reproduction, la croissance et le développement. (Marieb et Hoehn, 2015)

Les PE sont reconnus pour interférer avec les mécanismes des hormones naturelles. Leurs mécanismes d'action sont complexes et encore mal compris. Toutefois, il est reconnu qu'ils peuvent influencer la production de sécrétions, le transport, le métabolisme, la liaison, l'action ou l'élimination des hormones naturelles. (Département cancer et environnement, 2017) La particularité des PE est l'absence de relation entre la dose et la réponse. C'est-à-dire que des effets néfastes peuvent être mis en évidence à une faible exposition et être inexistant à de plus grandes concentrations. En effet, ils agissent comme des hormones et non comme des polluants dont la relation entre la dose et la réponse est cohérente : plus la concentration est élevée dans un organisme, plus il est néfaste. (Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens [PNRPE], 2012) En dépit que leurs impacts restent encore peu connus, certaines études scientifiques ont relevé des impacts sur la faune aquatique et sur la santé humaine.

### **1.3.2 Effets sur la faune et la flore**

Au Canada, le fleuve Saint-Laurent est l'un des plus importants plans d'eau affectés par l'accumulation des PPSP. Il reçoit quotidiennement des eaux usées, entre autres les effluents de la Ville de Montréal, déversés à différentes positions le long de son tracé. Ces rejets provoquent une importante activité estrogénique pouvant être mesurée jusqu'à 50 kilomètres (km) en amont et en aval de l'île de Montréal ainsi qu'une propagation des PPSP dans l'environnement. En effet, certains PPSP, susceptibles d'avoir des effets sur le système endocrinien, peuvent être retrouvés jusqu'à 8 km plus loin des points de rejets. (Robinson, Junqua, Van Coillie et Thomas, 2007)

Malgré les faibles concentrations des PE dans les eaux de surface, certaines espèces aquatiques en ressentent les effets à des doses de l'ordre du nanogramme par litre (ng/l). C'est le cas de la moule d'eau douce *Elliptio complanta* et du mené à tache noire *Notropis hudsonis*, qui sont affectés par l'activité estrogénique en aval de l'île de Montréal. (Aravindakshan et al, 2004; Blaise et al., 2003) Plus spécifiquement, le 17 $\alpha$ -éthinyloestradiol (EE2), une hormone retrouvée dans la pilule contraceptive et contribuant à l'activité estrogénique des eaux, provoque une augmentation de la production d'embryons chez l'escargot *Potamopyrgus antipodarum* et les poissons. (Jobling et al., 2004) De plus, elle n'a pas besoin d'être persistante dans l'environnement pour engendrer des effets néfastes, car elle est continuellement déversée dans les eaux de surface grâce aux rejets des installations d'assainissement des eaux usées. (Ellis, 2006; Gros, Petrovic et Barceló, 2006) Par ailleurs, d'autres médicaments peuvent perturber les organismes aquatiques, comme le tamoxifène, un traitement pour le cancer du sein, qui inhibe le développement des larves de copépodes. (Andersen, Wollenberger, Halling-Sorensen et Kusk, 2001)

Les organismes présentés ci-haut se trouvent à la base de la chaîne alimentaire. Une diminution de la diversité et quantité de ces espèces ébranlerait toute la chaîne à long terme. (Pan et al., 2008) De plus, la

présence de faibles concentrations de médicaments pourrait agir indirectement, en perturbant l'homéostasie des organismes et les rendant plus sensibles aux autres PE. (Besse, 2010)

### **1.3.3 Effets chez l'humain**

Les PE peuvent également affecter la santé de l'humain. Son sang peut comprendre plus de 200 substances chimiques pouvant à tout moment interférer avec le système endocrinien et provoquer des problèmes de santé. (Horel, 2010)

Les études scientifiques ont démontré un lien entre les PE et certaines maladies. Cependant, elles ne permettent pas d'établir la cause et les effets d'une exposition précise. Ces liens ne pourront peut-être jamais être prouvés en raison de la complexité des expositions croisées et des maladies. (OMS et PNUE, 2012)

Les PE peuvent être associés à l'apparition de cancers hormonaux dépendants, comme le cancer du sein, de l'utérus, de la thyroïde, de la prostate et des testicules. Ils peuvent également favoriser des maladies telles que le diabète, le syndrome métabolique, l'Alzheimer, le Parkinson et le TDAH. Des liens peuvent être établis entre les PE et les maladies du cœur et les maladies auto-immunes. Par ailleurs, les PE peuvent participer au développement de problèmes de santé comme l'asthme, l'hypertension, l'obésité, l'endométriose et la puberté précoce. En plus, ces substances sont soupçonnées d'affecter la fertilité et provoquer la cryptorchidie chez les jeunes garçons. (Chèvre et Erkman, 2011; Département cancer et environnement, 2017; OMS, 2013; OMS et PNUE, 2012)

## 1.4 Encadrement réglementaire

Il n'existe pas d'encadrement réglementaire spécifique à l'égard des PE, par contre certains lois et règlements peuvent les concerner et sont exposés dans ce chapitre. Cette section aborde la réglementation s'appliquant aux PE des différentes instances gouvernementales soit, internationale, nationale, provinciale et municipale.

### 1.4.1 Encadrement réglementaire à l'international

L'Europe est la première grande puissance à avoir réglementé les PE. En 1999, elle met en place une stratégie portant sur les PE. De cette approche découle d'abord une liste de 562 substances préoccupantes jugées prioritaires. Puis, en 2007, s'ensuit la création du programme REACH (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques). Ce programme reprend le cadre réglementaire de l'UE sur les produits chimiques. Il oblige les entreprises à fournir des informations sur les risques des produits chimiques qu'elles commercialisent et d'en faire une gestion adéquate. Il indique aussi aux consommateurs les dangers et les effets des différentes substances. (Chaussinand, 2015)

D'ailleurs, plusieurs lois et règlements font mention des PE tels que la loi de 2009 concernant les pesticides. Elle précise que la population européenne ne doit pas être exposée aux PE ni à des substances considérées comme cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques. Par contre, les critères définissant les PE n'ont pas été adoptés avant le 4 juillet 2017. Ce retard est attribuable à la logique de zéro exposition de la *Loi sur les pesticides*. Dans cette optique, si un pesticide est reconnu comme un PE, il devra être interdit. Il y avait donc une importante pression de la part des industries opposées à ce raisonnement. (Commission des Affaires européennes, 2014; Commission européenne, 2017, 4 juillet)

Bref, la Commission européenne a finalement approuvé trois critères pour définir un PE soit :

- l'apparition d'effets indésirables,
- le mode d'action endocrinien,
- la corrélation démontrée entre le mode d'action et l'apparition d'effets indésirables (Commission européenne, 2017, 4 juillet).

Toutefois, certaines organisations déplorent que le niveau de preuves à fournir soit trop élevé et qu'il rende difficile l'identification des substances dangereuses, bien que les données issues d'études sur les animaux *in vitro* ou *in silico* peuvent être utilisées pour identifier les PE. Les critères seront appliqués pour l'évaluation de toutes les substances actives utilisées dans des produits phytopharmaceutiques, dont les pesticides, biocides et herbicides. Ainsi, tous les produits actuellement utilisés, qui contiennent des

composés qui répondent aux critères de définition des PE, devront être retirés du marché européen. (Commission européenne, 2017, 4 juillet)

Pour le moment, ces critères ne s'appliquent qu'aux phytopharmaceutiques, mais ils serviront de base pour établir une stratégie englobant les jouets, les produits cosmétiques, les emballages alimentaires, etc. (Commission européenne, 2017, 4 juillet)

De son côté, la France a son propre *Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens* (PNREP) depuis 2005. Il appuie les recherches portant sur les effets des PE sur les organismes et l'environnement ainsi que sur la recherche de substances de substitution. (Ministère de la Transition écologique et solidaire [MTÉS], 2017) En 2014, elle lançait sa Stratégie nationale sur les PE reposant sur quatre pôles d'action, soit la recherche, l'expertise, l'information et la réglementation et l'innovation, dont le but visait à réduire l'exposition de la population aux PE. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer de la France [MEEMF] et Ministère des Affaires sociales et de la Santé de la France [MASSF], 2017) Dans un autre ordre d'idée, la réglementation concernant les effluents des eaux usées des hôpitaux est floue. Malgré leur forte concentration en médicaments, métabolites et autres molécules, ils sont rejetés dans l'environnement sans traitement supplémentaire par le réseau d'égout municipal ou l'épandage des boues de STEP. (Bureau d'études industrielles énergies renouvelables et environnement [BEI ERE], 2012)

Les États-Unis se sont également intéressés à la problématique entourant les PE. En 1996, ils adoptent le *Food Quality Protection Act* (FQPA), qui donne le pouvoir à la US EPA de mettre en place un programme de recherche sur les PE, nommé le *Endocrine Disruptor Screening Program* (EDSP). Il a pour but d'évaluer les substances présumées être des PE. (Chaussinand, 2015; Département cancer et environnement, 2017)

Les États-Unis ont élaboré un autre programme soit le *Toxicology in the 21<sup>st</sup> Century* (Tox21). C'est une collaboration fédérale entre le *National Institutes of Health* (NIH), le *National Toxicology Program* (NTP), l'US EPA et la *United States Food and Drug Administration* (US FDA). Il sert à développer des méthodes d'évaluation de la toxicité des molécules. C'est grâce à ce programme qu'une méthode d'analyse des estrogènes a été validée. (NTP, 2017)

Puis, la US FDA a élaboré une base de données sur les PE, soit la *Endocrine Disruptor Knowledge Base* (EDKB). Elle renferme les données relatives aux récepteurs à androgène et à estrogène ainsi que plus de 3 200 composés chimiques. Elle prédit l'affinité de liaisons entre les molécules et les récepteurs à l'aide de modèles de toxicologie basés sur plus de 2 000 études réalisées *in vitro* et *in vivo*. (US FDA, 2017)

#### 1.4.2 Encadrement réglementaire au Canada

Le gouvernement canadien n'a pas de stratégie en ce qui a trait aux PE. Il se contente d'appuyer les travaux de recherche au sein des universités et des ministères ainsi que de favoriser les collaborations à l'échelle internationale. (BVG, 2011) Malgré l'absence d'une stratégie d'action, certaines lois peuvent agir à l'égard des PE, dont la *Loi sur les aliments et les drogues*, la réglementation sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées et la procédure de mise en marché des médicaments.

La *Loi sur les aliments et les drogues* stipule qu'il est interdit de vendre des produits qui contiennent une substance susceptible de nuire à la santé de la personne qui en fait un usage normal. Elle ne prend pas en considération l'impact de l'accumulation du composé dans l'environnement. À titre d'exemple, le bisphénol A, contenu dans les produits d'emballage des aliments « ne pose pas un risque pour la population en général, y compris pour la santé des nouveau-nés et des nourrissons », selon la direction des aliments de Santé Canada. (Santé Canada, 2014) Le GC n'entend pas appliquer le principe de précaution. Il se base plutôt sur les recherches scientifiques pour interdire un composé. Ainsi, tant qu'il n'est pas démontré qu'une molécule engendre des effets néfastes sur une personne qui en fait l'usage normal, elle est tolérée. (BVG, 2011)

Malgré tout, le bisphénol A ainsi que plusieurs autres composés sont inscrits sur la liste des substances toxiques énumérées à l'annexe 1 de la *Loi canadienne de la protection de l'environnement* (LCPE) (1999). Cette loi-cadre vise à faire la prévention et le contrôle de la pollution. Les scientifiques du gouvernement canadien évaluent les substances chimiques afin de déterminer les risques potentiels sur la santé de l'homme et sur l'environnement. Les substances jugées nocives en vertu de l'art. 64 de la LCPE sont inscrites à l'annexe 1 : liste des substances toxiques. En réponse à leur inscription, le GC peut élaborer des règlements dans le but de prévenir et de contrôler leur utilisation et leur rejet. (ECCC, 2017b)

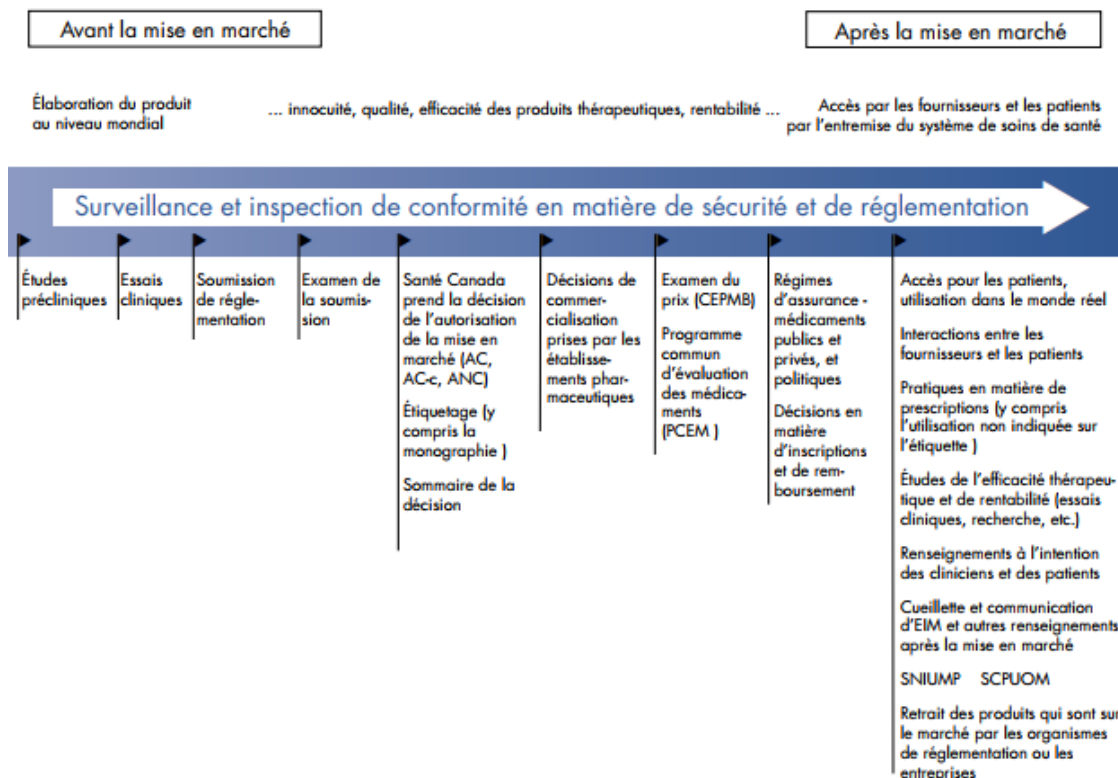
Le bisphénol A ne fait pas l'objet de règlement, par contre plusieurs mesures ont été mises en place afin d'en atténuer l'exposition aux personnes vulnérables. Ainsi, depuis 2010 le bisphénol A est prohibé dans les biberons. (MDDELCC, 2017b) D'autres substances préoccupantes comme le PBDE et le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) sont mentionnées dans le *Règlement sur certaines substances interdites*. Ce dernier identifie en annexe 1 et 2 les substances dont la fabrication, l'utilisation, la vente et l'importation sont interdites. (ECCC, 2017c) Par ailleurs, d'autres règlements encadrent spécifiquement certaines matières toxiques, comme le *Règlement sur les Biphényles polychlorés (BPC)* découlant de la LCPE. Celui-ci établit la date limite d'utilisation d'équipements contenant des BPC, soit le 31 décembre 2025. En milieu hospitalier, des BPC peuvent être retrouvés dans les transformateurs électriques, les condensateurs électriques et les ballasts de lampes. (Ministère de la Santé et des Services sociaux [MSSS], 2017)

En 2006, le gouvernement a créé le Plan de gestion des produits chimiques (PGPC) dans le but d'évaluer 4 300 substances chimiques jugées prioritaires et utilisées au Canada. En mai 2016 commençait l'évaluation des 1 550 dernières substances sélectionnées et s'étendra jusqu'en 2020. (GC, 2016)

Le PGPC comporte également un volet destiné à la surveillance et à la recherche afin de mesurer le risque potentiel des substances chimiques sur l'homme et son environnement. (BVG, 2011) Il s'ajoute aux actions de surveillance de la qualité de l'eau douce d'EC, dont le Programme de monitoring et de surveillance des eaux douces (PMSSED) et le Plan d'action Saint-Laurent en collaboration avec le gouvernement du Québec.

L'amélioration de la qualité des cours d'eau passe aussi par la réglementation des eaux usées, avec le *Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées* qui présente les normes nationales pour l'assainissement des eaux usées.

Finalement, un certain contrôle des nouvelles substances est effectué au niveau fédéral. Afin qu'un produit soit vendu au Canada, une autorisation de mise en marché (AM) doit lui être accordée en vertu de la *Loi sur les aliments et drogues*. Santé Canada évalue leur innocuité, leur efficacité et leur qualité. Ces produits incluent, entre autres, les médicaments avec ou sans ordonnance, les désinfectants et les produits d'hygiène ayant un pouvoir désinfectant. La figure 1.4 présente l'évaluation d'un médicament pour obtenir sa mise en marché. (Santé Canada, 2017a)



**Figure 1.4 Présentation des étapes de mise en marché des médicaments au Canada** (tiré de : Groupe de travail interministériel fédéral, provincial, territorial, 2006)



### 1.4.3 Encadrement réglementaire au Québec

Tout comme au fédéral, la gestion provinciale des PE se fait de façon dispersée à travers plusieurs lois et règlements. Les PE sont, en partie, pris en compte par la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE), la *Loi sur les pesticides* et les plans d'action destinés à l'amélioration de la qualité des cours d'eau.

L'entrée en vigueur de la LQE, le 21 décembre 1972, a contribué à l'amélioration de la qualité des eaux de surface. Cette loi a pour but de protéger l'environnement, elle établit un cadre réglementaire pour les produits chimiques et les activités nuisant à l'environnement. Entre autres, l'art. 20 stipule que :

« Nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement. ».

Plus d'une soixantaine de règlements découlent de cette loi et sept peuvent s'appliquer aux rejets de PE dans les eaux usées. Entre autres, le *Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel* cible les industries devant se procurer une attestation d'assainissement (AA). Cette dernière diffère du certificat d'autorisation (CA) délivré en vertu de l'art. 22 de la LQE, elle s'applique à l'exploitation d'un établissement industriel alors que le CA est nécessaire pour entreprendre un projet ou une activité désignée. L'AA spécifie pour chaque établissement industriel visé par le règlement, des normes environnementales concernant les rejets dans l'eau et l'atmosphère ainsi que pour les matières résiduelles. L'AA vise à réduire peu à peu les rejets afin qu'ils respectent la capacité de support des milieux récepteurs. (MDDELCC, 2017c)

Le *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*, le *Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées* (ROMAEU) et le *Règlement sur les entreprises d'aqueduc et d'égout* visent à limiter le rejet d'eaux ménagères dans l'environnement. Le premier s'applique aux résidences de six chambres et moins non reliées à un réseau d'égout. Il assure que les eaux ménagères de ces foyers soient recueillies dans une fosse septique conforme et non rejetées dans l'environnement. (MDDELCC, 2017d) Le deuxième règlement détaille les normes de rejets, de débordements, le suivi des rejets exigés et les certifications nécessaires pour opérer une station d'épuration à l'échelle d'une municipalité. Il incorpore d'ailleurs les exigences de la Stratégie pancanadienne. (MDDELCC, 2017e) Puis, le dernier concerne les entreprises régissant des installations d'aqueduc et d'égouts privés. Il établit les mesures que doivent respecter les responsables d'établissements privés. (MDDELCC, s.d.)

Le *Règlement sur les déchets biomédicaux*, quant à lui, prévoit la façon de gérer les différentes catégories de déchets biomédicaux. Selon le règlement, les déchets anatomiques et les déchets non anatomiques doivent obligatoirement être incinérés ou désinfectés. Ils ne peuvent pas être compressés ni rejetés dans les égouts. Au sens du règlement, le sang, les liquides biologiques, les ongles, les cheveux et les dents ne sont

pas des déchets biomédicaux, ainsi ils peuvent être déversés dans les égouts. Par contre, les contenants de sang non vidés et le matériel imbibé de sang sont considérés comme des déchets biomédicaux. Le règlement détaille aussi la procédure d'obtention d'un CA en vertu de l'art. 22 de la LQE, afin d'exploiter un traitement de désinfection, d'incinération ou d'un service de transport de déchets biomédicaux. Une fois désinfectés, ces déchets perdent leur caractère biomédical et sont alors régis par le *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles* (REIMR). (MDDELCC, 2017f) Avant l'entrée en vigueur de ce règlement en 1992, les déchets biomédicaux anatomiques humains et animaux étaient éliminés par enfouissement ou incinération. (MSSS, 2017)

Le REIMR précise, pour sa part, que les matières dangereuses et les déchets biomédicaux ne sont pas admis dans les lieux d'enfouissement et les incinérateurs. (MSSS, 2017)

Puis, le *Règlement sur les matières dangereuses* (RMD) énumère les composés assimilés à des matières dangereuses, entre autres, les huiles, les BPC et les objets contaminés par une substance dangereuse. Ce règlement interdit d'émettre, de déposer, de dégager ou de rejeter une matière dangereuse dans l'environnement ou dans un système d'égout. L'art. 7 exclut les substances radioactives qui sont régies par la *Loi sur la sûreté nucléaire et la réglementation nucléaire* du gouvernement fédéral. (MDDELCC, 2017g; MSSS, 2017)

La LQE ne prend pas en considération les pesticides destinés aux activités agricoles, leurs utilisations sont plutôt encadrées par la *Loi sur les pesticides*. Elle a pour objectif de limiter l'usage des pesticides ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la santé. (MDDELCC, 2017h)

Ensuite, les plans d'action développés par le gouvernement du Québec afin d'améliorer la qualité de ses cours d'eau ont permis de raccorder 98 % des foyers québécois à un réseau d'égout, de réduire le rejet de substances dans les cours d'eau, de restreindre la pollution des eaux de surface et d'établir un suivi de la qualité de l'eau. Ces projets sont les suivants :

- Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ),
- Programme d'assainissement des eaux municipales (PADEM),
- Plan d'action Saint-Laurent,
- Vision 2000,
- Programme de réduction des rejets industriels (PRRI). (MDDELCC, 2017i)

#### **1.4.4 Encadrement réglementaire dans les municipalités**

Les municipalités ont compétence pour réglementer la quantité de rejets tolérée aux réseaux d'égouts en fonction de la capacité de leurs installations d'assainissements des eaux usées (MSSS, 2017). Toutefois, le gouvernement provincial a fixé des normes minimales de rejets pour les stations d'épuration qui sont détaillées dans le ROMAEU. Les rejets doivent avoir une concentration de demande biochimique en oxygène après cinq jours ( $\text{DBO}_5\text{C}$ ) inférieure ou égale à 25 milligrammes par litre (mg/l) et une concentration en matières en suspension (MES) restreinte à 20 mg/l et un pH entre 6,0 et 9,5. Par ailleurs, les eaux ne doivent pas présenter une toxicité aigüe pour la truite arc-en-ciel ni pour la daphnie.

Le ministère a élaboré des objectifs environnementaux de rejet (OER) pour plusieurs substances, dont le mercure. L'OER doit être évalué pour chaque station d'épuration en fonction des critères de qualité de l'eau de surface, des conditions hydrodynamiques et des usages de l'eau. Toutefois, le calcul des OER ne prend pas en considération les contraintes économiques et technologiques. Les OER permettent de fixer les concentrations de polluants pouvant être rejetées dans le milieu aquatique récepteur sans mettre en péril les usages de l'eau. (MDDELCC, 2017j)

Pour faciliter la tâche aux municipalités, le gouvernement a établi un modèle de règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égout des municipalités du Québec. Il reprend les normes du ROMAEU et peut servir de fil conducteur aux villes désirant élaborer leur propre règlement. À titre d'exemple, c'est le règlement municipal de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) (règlement 2008-47) sur l'assainissement des eaux usées établi le plus de normes. En effet, il recense 62 contaminants, dont le mercure, et indique pour chacun d'entre eux, les seuils à respecter compte tenu du réseau dans lequel ils sont déversés, soit les réseaux pluviaux, les cours d'eau ou les réseaux d'égouts avec un traitement physicochimique ou biologique. (MDDELCC, 2015a; Ville de Montréal, 2008)

### **1.5 Problématique**

L'augmentation de l'utilisation de substances chimiques dans les produits de consommation et l'incapacité à les éliminer par les systèmes d'assainissement des eaux usées favorisent leur accumulation dans les eaux de surface. Plusieurs de ces composés sont reconnus pour engendrer des effets néfastes sur les écosystèmes et même sur la santé humaine. Les hôpitaux utilisent une grande quantité de médicaments, de désinfectants et autres composés chimiques, pour traiter les maladies et assurer un milieu stérile et propre aux patients. De ce fait, il est opportun de se pencher sur la contribution des établissements de soin en matière de substances chimiques, plus particulièrement de PE déversés dans les eaux usées municipales, qui offrent une résistance aux traitements mis en œuvre dans les usines d'épuration.

## **2. PORTRAIT DE LA SITUATION QUÉBÉCOISE**

Ce chapitre dresse le portrait des polluants émergents identifiés dans les eaux de surface du Québec. D'abord, les organisations impliquées dans la détection de ces substances sont présentées. Ensuite, les critères de la qualité de l'eau pouvant s'appliquer aux polluants sont exposés. Puis, les composés retrouvés dans les eaux de surface sont listés selon deux catégories, soit les produits pharmaceutiques et les autres substances.

### **2.1 Organisations impliquées dans la prise d'échantillons d'eau de surface**

Cette section présente les différentes instances impliquées dans la collecte d'informations sur la qualité des eaux de surface du Québec.

#### **2.1.1 Gouvernement du Canada**

Le GC, en collaboration avec les provinces, vérifie la qualité des eaux de surface de façon périodique par le biais du PMSED. Ce programme inclut différents types de surveillance, dont l'échantillonnage à long terme de la qualité physicochimique de 350 endroits, l'inspection des habitats aquatiques et la vérification automatisée de 19 sites par la mesure de paramètres comme la température, la conductivité et le pH. Par ailleurs, le PGPC supporte le suivi de 60 emplacements. (ECCC, 2017d) D'autres programmes ont été mis sur pied de façon sporadique, tels que la surveillance de la qualité de l'eau en 2006 et 2007 qui a permis de repérer plusieurs pesticides, PPSP et autres composés dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. (ECCC, 2013a; ECCC, 2009) Un échantillonnage a également été effectué dans quelques affluents du lac Saint-Pierre entre 2003 et 2008, à la suite de la reconnaissance du lac comme une Réserve mondiale de la biosphère par l'*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO). (ECCC, 2013b)

#### **2.1.2 Gouvernement du Québec**

Du côté provincial, c'est par le Réseau-rivières et ses 260 sites d'échantillonnages que le suivi physicochimique et bactériologique des plans d'eau est assuré. Ce programme mesure régulièrement les paramètres de base, comme le phosphore total, l'azote total, les nitrites et les nitrates, l'azote ammoniacal, la chlorophylle a, les phéopigments, les coliformes fécaux, la turbidité, les MES, le pH, la conductivité, le carbone organique dissout et la température. Un suivi annuel des métaux est également effectué dans neuf des principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent entre les villes de Montréal et de Québec. Puis, depuis 2012, les pesticides sont aussi mesurés périodiquement. (MDDELCC, 2017k) Quant aux polluants émergents, ils ne sont pas surveillés sur une base régulière en raison du coût des opérations. Plusieurs projets ont été utiles pour dresser le portrait de l'état des eaux de surface du Québec, dont le programme de

surveillance sur la qualité de l'eau potable et le suivi régional rotatif des contaminants émergents et des communautés de poissons respectivement en place depuis 1985 et 2012. (MDDELCC, 2017b; MDDEP, 2011) D'autres données épisodiques sont prises en considération telles que le suivi des composés perfluorés de 2007 à 2009 dans 10 plans d'eau du Québec. (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs [MDDEFP], 2012)

### **2.1.3 Études scientifiques**

Les recherches scientifiques étudiant les polluants émergents contenus dans les eaux de surface viennent compléter les tableaux. Elles sont plus sporadiques que les données gouvernementales et proviennent surtout des universités. La première est un mémoire de maîtrise s'intéressant aux polluants émergents dans les eaux potables de 19 municipalités du centre-sud du Québec. (Sanchez Uribe, 2017) La suivante présente une revue de la littérature sur les polluants émergents. Elle traite de certains composés présents en territoire canadien. (Sauvé et Desrosiers, 2014) La dernière porte sur les agents cytotoxiques retrouvés dans les effluents du grand Montréal. (Rabii, Segura, Fayad et Sauvé, 2014)

## **2.2 Critères d'évaluation de la qualité de l'eau**

Il existe différents types de critères pour mesurer la qualité de l'eau. Ils ont été mis en place par plusieurs grandes organisations dans le but de prévenir les effets néfastes des différents composés dans l'environnement. Cependant, il n'existe pas de critères pour tous les polluants émergents. Le Gouvernement du Québec a développé un Guide des critères de la qualité de l'eau servant à évaluer la qualité des eaux de surface du Québec. (MDDEFP, 2013) Il regroupe des critères pour plus de 400 substances. Il reprend les repères établis par différentes organisations, dont le conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME), US EPA, le *Michigan Department of Environmental Quality* (MDEQ) et l'OMS, en plus d'en définir lui-même.

Il existe différents types de critères pour mesurer la toxicité des composés, soit des critères concernant la protection de la vie aquatique, de la santé humaine, de la faune piscivore et des activités récréatives. Il faut toutefois conserver un jugement critique face aux seuils établis par ces critères. Pour certains pesticides, PPSP et hormones, par exemple, le seuil fixé correspond à la capacité de détection minimale des appareils analytiques. (Sauvé, 2012) Ainsi, le fait de ne pas déceler une substance dans les eaux ne signifie pas nécessairement qu'elle n'affecte pas le milieu récepteur. Par ailleurs, l'effet cocktail n'est pas pris en compte par les critères. Des polluants émergents dont la concentration n'excède pas les seuils établis pourraient tout de même engendrer des effets néfastes, lorsque mis ensemble. (MDDELCC, 2017l)

Les critères utilisés dans le cadre de cet essai sont détaillés, soit les critères de vie aquatique aigüe (CVAA) et chronique (CVAC), la valeur aigüe à l'effluent (VAFe) et les critères de qualité pour la protection de la faune terrestre piscivore (CFTP).

### **2.2.1 CVAA**

Ce critère de qualité chimique établit des seuils de concentration pour différentes substances présentes dans les étendues d'eau. Il a pour but d'assurer une protection à court terme des organismes aquatiques. Il indique la concentration maximale, pour un composé donné, à laquelle la faune et la flore aquacoles peuvent être exposées sur une brève période de temps sans en mourir. Si la concentration excède celle instaurée par le critère, des impacts sur la vie aquatique peuvent être suspectés. En théorie, la concentration des substances dans les eaux de surface ne devrait pas dépasser la valeur établie pour ce critère durant plus d'une heure. (MDDELCC, 2017l; MDDEFP, 2013)

### **2.2.2 CVAC**

Le CVAC est un critère de qualité chimique défini afin de protéger à long terme la faune et la flore aquatiques. (MDDEFP, 2013) Il établit la concentration maximale d'une substance donnée dans l'eau à laquelle les organismes aquacoles peuvent être exposés pendant toute leur vie sans en subir d'effets néfastes. Une substance présente en concentration supérieure au CVAC durant plus de quatre jours est susceptible de causer des dommages aux espèces aquatiques. Les composés présents à des concentrations un peu plus élevées que le CVAC n'auront pas nécessairement de répercussions indésirables sur le milieu récepteur, tant que leurs durées et leurs fréquences restent négligeables et qu'il y a de longues périodes de compensation entre chaque épisode. Plus la concentration de la substance dans l'eau est supérieure à la valeur du CVAC, plus la durée à laquelle elle peut être tolérée est courte. Les seuils pour les CVAC sont déterminés à partir des concentrations sans effets observables (CSEO) établies. (MDDEFP, 2013; MDDELCC, 2017l)

### **2.2.3 VAFe**

Le critère VAFe représente la concentration pour une substance donnée dans l'effluent, engendrant la mortalité de 50 % des organismes exposés. Il est surtout utilisé pour prévoir l'effet d'un composé en estimant la toxicité aigüe des effluents avant qu'ils ne rejoignent le milieu récepteur et que le CVAA ne peut être appliqué. La valeur du VAFe équivaut à deux fois le CVAA. (MDDEFP, 2013) Ce critère est comparable à la concentration létale 50 (CL<sub>50</sub>) qui correspond à la quantité de substances dans l'eau pouvant tuer la moitié d'un groupe d'animaux au cours d'une période d'observation. (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail [CCHST], 2017)

#### **2.2.4 CFTP**

Le CFTP indique la concentration à laquelle une substance dans l'eau n'affectera pas la viabilité de la faune terrestre piscivore sur plusieurs générations. Les seuils imposés visent à préserver l'utilité récréative et commerciale des espèces étant en contact avec les plans d'eau. (MDDELCC, 2015b; MDDEFP, 2013) La valeur du critère est fixée à la valeur la plus basse entre celle déterminée pour assurer la protection des espèces aviaires et celle des espèces fauniques. (MDDEFP, 2013)

### **2.3 Substances échantillonnées dans les eaux de surface**

Les différentes études abordées à la section 2.1 ont permis de dresser un portrait des polluants émergents présents dans les eaux de surface du Québec, à l'exception des pesticides qui ne sont pas considérés dans cet essai. Les polluants émergents retrouvés sont exposés au tableau 2.1 et divisés en 10 sous sections. Ces dernières sont ensuite regroupées et détaillées en deux catégories, soit les produits pharmaceutiques et les autres substances.

#### **2.3.1 Liste des substances**

Le tableau 2.1 présente les produits pharmaceutiques et autres composés retrouvés dans les étendues d'eau du Québec. Pour chaque substance exposée, il est indiqué si la concentration retrouvée dans les plans d'eau respecte les seuils des critères d'évaluation de la qualité de l'eau. Pour ce faire, un code de couleur a été établi dans le cadre de cet essai, une case verte signifie que les échantillonnages effectués et ressortis n'excèdent pas les différents critères établis. Une case rouge évoque qu'au moins un résultat comprend une valeur plus élevée que celle proposée par les critères. Le critère dépassé est inscrit dans la case rouge. Il se peut que plus d'un critère soit dépassé, alors, ils sont tous énumérés dans la case en question. Puis, une case grise signifie qu'aucun critère de référence n'est offert pour la substance, c'est le cas pour plusieurs médicaments, ce qui limite l'interprétation des résultats. (MDDELCC, 2017b)

**Tableau 2.1 Polluant émergent échantillonné dans les eaux de surface du Québec** (compilé de : ECCC, 2009; ECCC, 2013a; ECCC, 2013b; MDDEFP, 2012; MDDELCC, 2015b; MDDELCC, 2017b; MDDELCC, 2017l; MDDEP, 2010; MDDEP, 2011; MDDEP, 2012a; MDDEP, 2012b; Rabii et al., 2014; Sanchez Uribe, 2017; Sauvé et Desrosiers, 2014)

Substances	Référence aux critères	Substances	Références aux critères	Substances	Référence aux critères
<b>Analgésiques/antiinflammatoire</b>					
Acétaminophène		Acide salicylique		Naproxène	
Acide acétylsalicylique		Fénoprophène			
Acide méfénamique		Ibuprofène			
<b>Antibiotique</b>					
Chlorotétracycline		Roxythromycine		Tétracycline	
Monensine		Sulfaméthoxazole		Tylosine	
Norfloxacin					
<b>Détergents / Antiseptique</b>					
triclosan					
<b>Hormones</b>					
Estriol (E3)		17 $\alpha$ -éthinyloestradiol (EE2)		Testostérone	
Estrone (E1)		17 $\beta$ -estradiol (E2)			
<b>Médicaments pour le cholestérol</b>					
Acide clofibrigue		Coprostanol		Coprostanol-3-one	
Benzafibrate		Coprostanol-3-ol		Gemfibrozil	
Cholestérol					
<b>Autres médicaments</b>					
Caféine		Cyclophosphamide		Méthotrexate	
Carbamazépine		Fluoxétine		4-tert-octylphénol	
<b>Métaux</b>					
Antimoine		Cuivre	CVAC	Plomb	CVAC
Argent		Fer	CVAC	Sélénium	
Arsenic		Manganèse		Strontium	
Bore		Molybdène		Uranium	
Cobalt		Mercure		Vanadium	
Cadmium	CVAC	Nickel		Zinc	CVAC
<b>Composés perfluorés</b>					
Acide perfluorononanoïque (PFNA)		Acide 2H-perfluoro-décénoïque (PFOUEA)		Sulfonate de perfluorohexane (PFHxS)	



**Tableau 2.1 Polluant émergent échantillonné dans les eaux de surface du Québec (suite)**

Substance	Référence aux critères	Substances	Références aux critères	Substances	Référence aux critères
<b>Composés perfluorés (suite)</b>					
Acide perfluorooctanoïques (PFOA)		Acide 2H-perfluoro-octénoïque (FHUEA)		PFOS	
Acide perfluoroundécanoïque (PFUdA)		Sulfonamide de perfluorooctane (PFOSA)			
<b>Phtalates</b>					
Bis(2-éthylhexyl) phtalate	CVAC	Diéthylphtalate		Di-n-butyle-phtalate	
Butylbenzylphtalate					
<b>Autres</b>					
Acétaldéhyde		Formaldéhyde		Polybromodiphényl-éthers (PBDE)	CFTP
Bisphénol A		HAP		1,2-dichlorobenzène	
BPC	CFTP	Nonylphénol (NP)	CVAC	1,3-dichlorobenzène	
Bis(2-chloroéthyle) éther		Nonylphénol éthoxylé (NPE)	CVAC	1,4-dichlorobenzène	
Dioxines et furanes chlorés	CFTP	Octylphénol	CVAC		

### 2.3.1 Produits pharmaceutiques

Les PPSP recensés au tableau 2.1 ont été détectés dans les eaux de surface du Québec entre 1999 et 2011. Ils ont principalement été identifiés par le MDDELCC et ECCC, dont les stations d'échantillonnage sont présentées aux annexes 3, 4 et 5. (ECCC, 2009; MDDELCC, 2017b; MDDEP, 2011; MDDEP, 2012a)

Plus de 30 PPSP et hormones se retrouvent dans les plans d'eau, dont le triclosan utilisé comme détergent, cinq hormones, telles que l'estriol (E3), le 17 $\beta$ -estradiol (E2), l'estrone (E1), l'EE2 et la testostérone, ainsi que sept composés analgésiques et antiinflammatoires, comme l'acétaminophène, l'acide acétylsalicylique, l'acide méfénamique, l'acide salicylique, le fénoprophène, l'ibuprofène et le naproxène.

Par ailleurs, sept antibiotiques sont présents dans les eaux, tels que la chlorotétracycline, le monensine, la norfloxacine, la tétracycline, le sulfaméthoxazole, la tylosine et la roxythromycine. Certains d'entre eux peuvent être utilisés pour soigner les animaux de fermes. C'est le cas de la tylosine dont la présence dans les eaux de surface est due aux ruissèlements provenant des terres agricoles plutôt qu'aux rejets des eaux usées. (MDDEP, 2011)

Des concentrations de médicaments appartenant à la classe des fibrates sont mesurées dans l'environnement, soit le benzafibrate, l'acide clofibrigue et le gemfibrozil. Ils sont utilisés dans le but d'abaisser les concentrations de cholestérol dans l'organisme. De plus, des résidus de cholestérol et ses dérivées sont identifiés, comme le coprostanol, coprostanol-3-ol et coprostanol-3-one. (Catalogue et index des sites médicaux de langue française [CISMeF], 2017)

Puis, d'autres types de PPSP sont retrouvés, comme la caféine qui est employée dans la synthèse de certains médicaments, le cyclophosphamide et le méthotrexate, des composés utilisés pour soigner certains cancers, la carbamazépine, un médicament contre l'épilepsie ainsi que la fluoxétine qui est prescrite dans le traitement pour la dépression. (CISMeF, 2017) Le 4-tert-octylphénol, quant à lui, entre dans la composition de produits cosmétiques, dont les shampoings. Il peut également être impliqué dans la fabrication de produits ménagers, de peintures, de colles et de matières plastiques. (ANSES, 2015)

En somme, il n'existe pas de critères de qualité de l'eau associés aux substances pharmaceutiques présentées. (MDDELCC, 2017b) Bien que la Colombie-Britannique et la Commission européenne aient adopté des CVAA et CVAC pour l'hormone synthétique EE2, la limite de détection des appareils du MDDELCC lors des échantillonnages était supérieure aux critères proposés. (MDDELCC, 2017b) Ainsi, l'absence de critères restreint considérablement l'analyse de ces substances dans les eaux de surface.

### 2.3.2 Autres substances

Depuis plusieurs décennies, la concentration de certains polluants est régulièrement mesurée dans les eaux de surface, en raison de leur toxicité et leur persistance dans l'environnement. (MDDEP, 2012a) Le tableau 2.1 en énumère quelques-uns, cependant la liste n'est pas exhaustive. Elle met surtout en évidence les substances évaluées dans les mêmes projets d'échantillonnage que les PPSP et les hormones, telles que certains métaux, composés perfluorés, phtalates et autres. Les mesures de ces composés ont été prises entre 1999 et 2011 et leurs emplacements sont exposés aux annexes 3, 5, 6, 7 et 8.

Parmi ces substances, l'attention est d'abord portée à la catégorie des métaux. Seulement quelques-uns d'entre eux excèdent les valeurs des critères de protection de la vie aquatique. Ces dépassements sont dus à des activités spécifiques. Par exemple, une importante quantité de fer est retrouvée dans les cours d'eau à proximité de terres agricoles. Par ailleurs, les concentrations élevées en cadmium, cuivre, plomb et zinc sont repérées en aval des sites miniers. Alors qu'il n'y a eu aucun dépassement pour l'antimoine, l'argent, l'arsenic, le bore, le cobalt, le manganèse, le molybdène, le nickel, le sélénium, le strontium, l'uranium et le vanadium. Les lieux d'échantillonnage de ces métaux sont présentés aux annexes 6 et 7. (MDDEP, 2012a) Pour ce qui est du mercure, les dépassements des critères de la qualité de l'eau ne sont pas spécifiés. Toutefois, sa présence dans les eaux de surface est problématique puisqu'il s'accumule dans la chair des organismes aquatiques. En effet, entre 22 et 94 % des poissons échantillonnés comportent une importante concentration en mercure. Cette concentration est assez élevée pour tous les états américains et les provinces canadiennes du nord-est du continent émettent des avis de restriction en ce qui a trait à la consommation de poissons d'eau douce. (MDDEP, 2012a)

Ensuite, la présence de nonylphénol (NP) et de nonylphénol éthoxylé (NPE) dans les eaux de surface peut être soulignée. Ces substances sont des dérivés de matières plastiques et autres matériaux abondamment utilisés. (MDDEP, 2011) Les NPE se dégradent en NPE à chaîne éthoxylée plus courte et en NP (Environnement Canada [EC] et Santé Canada, 2001). Ces derniers sont persistants dans l'environnement en plus de posséder une toxicité et une activité estrogénique plus élevée que les molécules mères. (Gauthier et al., 2013) La concentration en produits nonylphénoliques dans les étendues d'eau surpasse le CVAC dans 9 à 45 % des mesures, selon l'emplacement des échantillonnages. Les fréquences de dépassement des NPE sont présentées à l'annexe 8. (MDDEP, 2010; MDDEP, 2011; MDDEP, 2012a)

Bref, le mercure, le NP et le NPE sont des substances toxiques abondamment retrouvés dans les plans d'eau.

### **3. PORTRAIT DES EAUX USÉES DES HÔPITAUX QUÉBÉCOIS**

Ce chapitre met en lumière les polluants émergents présents dans les effluents des hôpitaux du Québec. D'abord, une description sommaire des eaux usées et des déchets produits par les hôpitaux sont présentés. Par la suite, les principaux PPSP identifiés dans les rejets hospitaliers à travers le globe sont recensés. Puis, les polluants émergents pouvant se retrouver dans les effluents des établissements de soins québécois sont justifiés et rassemblés dans un tableau.

#### **3.1 Caractéristiques des effluents hospitaliers**

Il est estimé que près de 70 % des produits pharmaceutiques consommés en hôpitaux rejoignent les eaux usées, soit par excrétion ou par lavage. (PILLS, 2012) Ces établissements sont considérés comme des points chauds en matière d'utilisation de produits pharmaceutiques due à l'usage important de médicaments à un même endroit ainsi qu'à cause du type de substances administrées, qui s'avèrent plus spécialisées et préoccupantes que celles vendues en pharmacie. En effet, les eaux usées hospitalières se caractérisent par la présence de composés cytostatiques, de produits de contrastes pour l'imagerie par rayon X ainsi que certains antibiotiques spécifiquement employés en hôpitaux, dont la vancomycine et la ciprofloxacine. Elles se distinguent également par sa concentration élevée en molécules estrogéniques et en bactéries résistantes aux antibiotiques. (PILLS, 2012; SIPIBEL, 2016; Verlicchi, Aukidy et Zambello, 2015)

Les effluents des établissements de soins comprennent une charge en PPSP de 2 à 3 fois plus supérieur que celle mesurée dans les effluents municipaux. (Verlicchi et al., 2010) Toutefois, cette contribution en PPSP dépend, d'une part de la saison. En effet, les concentrations pharmaceutiques tendent à être plus élevées en hiver qu'en été. (Verlicchi, Al Aukidy, Galletti, Petrovic, et Barceló, 2012) D'autre part, elle fluctue en fonction de la quantité de lits et d'habitants desservis par l'installation. (Al Aukidy, Verlicchi et Voulvoulis, 2014) En comparaison, le nombre de lits par 1000 habitants varie de 2,6 pour le Danemark et le Canada à 8,1 pour l'Allemagne. (Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE], 2016)

#### **3.2 Matières résiduelles des hôpitaux**

Les matières résiduelles générées par les hôpitaux proviennent principalement des tests de laboratoire ainsi que des soins et des diagnostics prodigués. Parmi celles-ci, seulement 15 % des déchets s'avèrent dangereux, infectieux, toxiques ou radioactifs. Cette section présente les différentes catégories de matières résiduelles retrouvées dans ces établissements, telles que les déchets généraux, biomédicaux, pharmaceutiques, chimiques, radioactifs, électroniques et recyclables. (MSSS, 2017)

### **3.2.1 Matières résiduelles générales**

Cette catégorie comprend tous les types de matières qui ne nécessitent pas de manipulations particulières. Elle inclut les déchets radioactifs sous la limite d'évacuation ainsi que certains matériaux de construction, rénovation et démolition (CRD). (MSSS, 2017)

### **3.2.2 Déchets pharmaceutiques**

Cette classe distingue les déchets pharmaceutiques dangereux et les déchets pharmaceutiques non dangereux. La première regroupe les médicaments résiduels et périmés considérés comme toxiques ou cytotoxiques au sens du RMD, alors que la deuxième catégorie comprend ceux classés comme non dangereux. Les produits pharmaceutiques dangereux incluent les produits toxiques, les médicaments narcotiques, les cytostatiques et ceux comportant des huiles et des graisses minérales. Les contenants et produits qui renferment des composés pharmaceutiques dangereux ou qui ont été mis en contact avec ce type de produits sont également considérés comme des déchets dangereux. Par ailleurs, il en est de même pour l'urine d'un patient qui a reçu un traitement à base de médicaments cytotoxiques. L'annexe 2 du *Guide de prévention – manipulation sécuritaire des médicaments dangereux* de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales (ASSTSAS) présente la liste des médicaments dangereux selon le *National Institut for Occupational Safety and Health* (NIOSH). (ASSTSAS, 2007) La seule façon de disposer des produits pharmaceutiques est par la méthode d'incinération. Toutefois, les produits dangereux ne peuvent pas être réduits en cendres dans une installation municipale, ainsi ils doivent être envoyés vers des incinérateurs spécialisés. (MSSS, 2017)

### **3.2.3 Déchets chimiques**

Les déchets chimiques sont surtout utilisés en laboratoire et pour la maintenance des installations. Ils comprennent entre autres, les réactifs de laboratoire, les solvants, les peintures et toutes autres matières représentant un risque pour la santé, la sécurité ou l'environnement. Les déchets chimiques ne sont pas tous considérés comme des déchets dangereux au sens du RMD. Ceux qui le sont doivent être éliminés selon les normes établies, alors que les autres peuvent être rejetés dans les égouts s'ils respectent les mesures municipales en matière de quantité, de concentration et de solubilité (section 1.4.4). Cependant, aucun registre de gestion des matières dangereuses résiduelles n'est exigé aux établissements de santé afin de s'assurer de leur bonne disposition. (MSSS, 2017)

### **3.2.4 Déchets radioactifs**

Les déchets radioactifs sont les résidus contenant des radio-isotopes en concentration supérieure aux valeurs permises par la Commission canadienne de la sûreté nucléaire (CCSN). Ces déchets comprennent des résidus liquides, des résidus solides, des seringues, des cylindres de plomb utilisés en médecine nucléaire ainsi que les urines et les fèces des patients traités. Comme le statut radioactif est temporaire, ce type de déchets peut être entreposé dans une chambre de décroissance jusqu'à ce que la radioactivité diminue sous le seuil d'évaluation. Par la suite, ils peuvent être disposés avec les déchets généraux. Si l'établissement de soins ne possède pas de chambre de décroissance, les déchets radioactifs doivent alors être envoyés à une entreprise spécialisée. (MSSS, 2017)

### **3.2.5 Déchets électroniques**

Cette catégorie inclut les équipements électroniques et informatiques, les piles ainsi que les appareils au mercure (thermomètre, sphygmomanomètre, tube fluorescent, lampe fluocompacte). Parmi ceux-ci, les équipements contenant du plomb et du mercure doivent être disposés en fonction du RMD. Toutefois, ils peuvent également être récupérés selon l'approche de la responsabilité élargie du producteur encadré par le *Règlement sur la récupération et la valorisation des produits par les entreprises*. Cette dernière oblige les entreprises qui ont commercialisé certains produits à en assurer la récupération en fin de vie. Ainsi, les appareils électroniques, les piles, les lampes au mercure, les peintures, les huiles ou les liquides de refroidissement peuvent être récupérés de cette manière. (MSSS, 2017)

### **3.2.6 Matières recyclables**

Les matières recyclables générées par les établissements de soin englobent le papier, le carton, le plastique, le métal, le verre, les résidus alimentaires, les matières organiques et les débris de CRD. (MSSS, 2017)

### **3.2.7 Déchets biomédicaux**

Les déchets biomédicaux comprennent les déchets anatomiques humains et animaux, les vaccins de souches vivantes, les contenants de sang, les matériaux imbibés de sang et les objets piquants, tranchants et cassables qui ont été en contact avec du sang, des tissus ou des liquides biologiques. Toutefois, cette catégorie n'inclut pas les phanères, le sang et les liquides biologiques des humains et des animaux. Selon la réglementation en vigueur, ces derniers peuvent être déversés dans les égouts sans prétraitement. Le coût de traitement des déchets biomédicaux est très élevé, de ce fait, il est défavorable pour l'institution d'y ajouter des substances qui peuvent légalement être disposées de façon moins onéreuse, avec les matières résiduelles générales par exemple. Les déchets anatomiques doivent être incinérés alors que les déchets non anatomiques peuvent

être incinérés ou désinfectés. Une fois désinfectés, ils perdent leur caractère biomédical et leur disposition est donc régie par le REIMR. (MSSS, 2017; Dictionnaire environnement, s.d.)

### 3.3 Polluants émergents présents dans les rejets des hôpitaux de différents pays

Cette section aborde les types de polluants émergents retrouvés dans les effluents hospitaliers de différents pays. Ils sont présentés au tableau 3.1, selon la compilation de 12 études scientifiques. Lorsqu'une étude relève avoir mesuré un composé, un « x » est inscrit dans la colonne appropriée. Une case restée blanche signifie que la substance n'est pas considérée dans l'étude en question. Finalement, une case grise indique que la molécule n'a pas été échantillonnée au-dessus de la limite de détection des appareils analytiques utilisés.

**Tableau 3.1 Polluant émergent présent dans les effluents des hôpitaux de différents pays** (compilé de : Al Aukidy et al., 2014; Coutu, Rossi, Barry, Rudaz et Vernaz, 2013; Foster, 2007; Gomez, Martinez Bueno, Lacorte, Fernandez-Alba et Aguera, 2006; Halling-Sorensen, Nors Nielsen, Lanzky, Ingerslev, Holten Luthoft et Jorgensen, 1998; PILLS, 2012; Seifrtova, Pena, Lino et Solich, 2008; Sim, Lee et Oh, 2010; SIPIBEL, 2016; Thomas, Dye, Schlabach et Langford, 2007; Verlicchi et al., 2010; Verlicchi et al., 2012)

Catégorie	Produit pharmaceutique	Al Aukidy et al., 2014	Coutu et al., 2013	Foster, 2007	Gomez et al., 2006	Halling-Sorensen et al., 1998	PILLS, 2012	Seifrtova et al., 2008	Sim et al., 2010	SIPIBEL, 2016	Thomas et al., 2007	Verlicchi et al., 2010	Verlicchi et al., 2012
Analgésique/ antiinflammatoire	Acétaminophène/ Paracétamol	x		x					x		x	x	x
	Acide acétylsalicylique								x				
	Acide ménéfanique												x
	Acide salicylique											x	x
	Codéine	x		x	x							x	x
	Diclofénac	x					x				x	x	x
	Dipyrone				x							x	
	Ibuprofène	x							x		x	x	
	Indométhacine											x	x
	Kétoprofène	x										x	x
	Naproxène	x					x		x	x		x	x
	Phénylbutazone												x
	Propyphénazone											x	
Antibiotique	Amoxicilline						x			x			
	Azithromycine		x										x
	Cefazolin											x	
	Cefotaxim											x	
	Chloramphénicol												x
	Chlorotétracycline	x									x	x	x
	Ciprofloxacine	x	x				x	x	x	x	x	x	x

**Tableau 3.1 polluant émergent présent dans les effluents des hôpitaux de différents pays (suite)**

Catégorie	Produit pharmaceutique	Al Aukidy et al., 2014	Coutu et al., 2013	Foster, 2007	Gomez et al., 2006	Halling-Sorensen et al., 1998	PILLS, 2012	Seifrtova et al., 2008	Sim et al., 2010	SIPEL, 2016	Thomas et al., 2007	Verlicchi et al., 2010	Verlicchi et al., 2012
Antibiotique (suite)	Clarithromycine	x	x				x			x		x	x
	Clindamycine		x										
	Doxycycline	x									x	x	x
	Enoxacine												x
	Enrofloxacin							x					
	Érythromycine	x	x				x			x		x	x
	Josamycine												x
	Lincomycine	x							x				
	Metronidazole	x	x										x
	Nifuroxazide												x
	Norfloxacin	x	x					x		x		x	x
	Ofloxacin	x	x					x		x		x	
	Oxytétracycline										x		x
	Pénicilline G et V											x	
	Roxithromycine											x	x
	Spiramycine												x
	Sulfaméthoxazole	x	x				x		x	x	x	x	x
	Tétracycline	x									x	x	x
	Tilmicosine												x
	Triméthoprim		x						x		x	x	x
	Vancomycine									x			
Anticonvulsif/ Tranquillisant	Acide valproïque											x	
	Carbamazépine	x					x		x	x		x	x
	Gabapentin											x	
Antifongique	Éconazole									x			
Antihistaminique	Cimétidine												x
	Famotidine												x
	Loratadine												x
	Ranitidine	x										x	x
Barbiturate	Butalbital												x
	Pentobarbital												x
	Phénobarbital												x
Bêta-bloquant/ antihypertenseur	Aténolol	x					x			x		x	x
	Betaxolol												x
	Cérazolol												x
	Clenbuterol												x
	Diltiazem											x	
	Enalapril												x
	Hydrochlorothiazide												x
	Lisinopril												x
	Métoprolol	x									x	x	x
	Nadolol												x
	Pindolol												x
	Propranolol	x										x	x
	Salbutamol												x
	Sotalol											x	x



**Tableau 3.1 polluant émergent présent dans les effluents des hôpitaux de différents pays (suite)**

Catégorie	Produit pharmaceutique	Al Aukidy et al., 2014	Coutu et al., 2013	Foster, 2007	Gomez et al., 2006	Halling-Sorensen et al., 1998	PILLS, 2012	Seifrtova et al., 2008	Sim et al., 2010	SIPEL, 2016	Thomas et al., 2007	Verlicchi et al., 2010	Verlicchi et al., 2012
Cytostatique	Cyclophosphamide					x	x			x	x		
	Ifosfamide					x	x			x	x	x	
	Méthotrexate												
	5-fluorouracil						x					x	
Détergent/ Antiseptique	Anionique									x			
	Cationique									x			
	Non ionique											x	
	Triclosan			x								x	
Diurétique	Furosémide												x
Drogue psychiatrique	Fluoxétine	x											x
	Lorazépam												x
Fragrance	Galaxolide											x	
	Tonalide											x	
Hormone	Eestriol (E3)	x									x	x	
	Estrone (E1)	x									x	x	
	17β-estradiol (E2)	x									x	x	
	17α-éthynylestradiol (EE2)	x										x	
Médicaments pour le cholestérol	Acide clofibrigue											x	
	Atorvastatin											x	x
	Benzafibrate	x					x			x		x	x
	Fenofibrate											x	x
	Gemfibrozil	x										x	x
	Mevastatin												x
	Pravastatine											x	x
Métal lourd	Gadolinium											x	
	Mercure											x	
	Platine											x	
Produits de contraste	Diatrizoate						x			x			
	Iopamidol						x			x		x	
	Iopromide	x					x			x		x	
Autre	Benzophénone			x									
	Caféine			x					x			x	
	Composés organiques absorbables (AOX)						x			x		x	
	N, N-Diéthyl-3-méthylbenzamide (DEET)			x									
	Lidocaïne						x			x			
	Nonylphénol (NP)			x									
	Phosphate de tris (2-chloroéthyle) (TCEP)			x									
	Tributylphosphate			x									
	Triéthyl citrate			x									

Les études exposées au tableau 3.1 proviennent de différents pays et ne considèrent pas toutes les substances listées.

D'abord, la première étude présente une revue de 30 composés pharmaceutiques retrouvés dans le cadre d'échantillonnages effectués aux États-Unis, en Inde, en Corée, à Taïwan et au Vietnam. Selon ces données, les composés les plus souvent mesurés dans les effluents hospitaliers sont la ciprofloxacine, le sulfaméthoxazole, l'ofloxacine, l'ibuprofène, l'acétaminophène et le diclofénac. Ils sont suivis des hormones E1 et EE2 ainsi que de la chlorotétracycline et de la lincomycine. Alors que les composés ayant les concentrations les plus élevées sont l'iopromide, l'acétaminophène et la ciprofloxacine, soit respectivement 1400 microgrammes par litre ( $\mu\text{g/l}$ ), 330  $\mu\text{g/l}$  et 237  $\mu\text{g/l}$ . (Al Aukidy et al., 2014)

Ensuite, l'équipe de Coutu (2013) évalue l'effet des saisons sur la concentration de neuf antibiotiques dans les effluents hospitaliers de la ville de Lausanne en Suisse. Ainsi, l'azithromycine, la ciprofloxacine, la clarithromycine, la clindamycine, le métronidazole, la norfloxacine, le sulfaméthoxazole et le triméthoprime sont retrouvés dans ce type d'eaux usées. (Coutu et al., 2013)

L'étude suivante, menée par Foster (2007) s'intéresse aux effluents de l'hôpital San Marcos au Texas. L'échantillonnage des eaux s'est étendu sur une période de 6 mois entre octobre 2006 et mars 2007. Les composés les plus souvent retrouvés sont l'acétaminophène, la caféine, le coprostanol, le N, N-Diéthyl-3-méthylbenzamide (DEET), le phosphate de tris (2-chloroéthyle) (TCEP) et le triclosan. Alors que les valeurs des concentrations de l'octylphénol, du sulfaméthoxazole, de la carbamazépine, de l'EE2 et de la fluoxétine sont plus basses que les limites de détection des appareils utilisés. (Foster, 2007)

L'équipe de Gomez (2006) expose ses travaux sur les effluents municipaux de la province d'Almería situer au sud de l'Espagne. Des concentrations de l'ordre du  $\mu\text{g/l}$  pour la dipyrone et la codéine sont retrouvées. Les membres supposent que ces molécules proviennent en fait des effluents hospitaliers, déversés à proximité de l'endroit où ont été prélevés les échantillons. (Gomez et al., 2006) Bien que la dipyrone soit beaucoup utilisée en Allemagne, en Italie et en Espagne, son efficacité est remise en question. Elle est bannie aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Suède. Alors qu'au Canada, cette substance active est seulement contenue dans certains médicaments vétérinaires en vente libre. (Santé Canada, 2017b)

Par la suite, Halling-Sorensen et ses collaborateurs (1998) présentent une revue des polluants retrouvés dans l'environnement. Ils soulignent la présence de plusieurs cytostatiques dans les eaux de surface, dont le cyclophosphamide et l'ifosfamide. Ils indiquent que ces molécules proviennent principalement des rejets des hôpitaux. Selon leurs sources, elles sont présentes dans plusieurs effluents hospitaliers du Royaume-Uni, de la Suisse et de l'Allemagne. (Halling-Sorensen et al., 1998)

Le projet PILLS, quant à lui, présente les substances les plus mesurées à travers les effluents de trois hôpitaux de l'UE. Selon ces données, les rejets hospitaliers amènent 100 % de l'ifosfamide et de la ciprofloxacine retrouvés dans les eaux usées urbaines. Alors qu'ils contribuent à plus de 50 % de l'apport de l'iopromide, de l'iopamidol, du diatrizoate, de l'érythromycine, du sulfaméthoxazole, de la clarithromycine et de la lidocaïne. De plus, ces rejets apportent entre 0 et 20 % de la charge totale des produits pharmaceutiques suivants, le cyclophosphamide, l'amoxicilline, le benzafrate, l'aténolol, la carbamazépine, le naproxène et le diclofénac. (PILLS, 2012)

L'étude de Seifrtova (2008) et son équipe souligne la présence de quatre antibiotiques, tels que la ciprofloxacine, la norfloxacine, l'ofloxacine et la rofloxacine, dans les eaux usées de quatre hôpitaux de la Ville de Coimbra au Portugal. (Seifrtova et al., 2008)

Le projet SIPIBEL mesure 15 composés pharmaceutiques dans les rejets de l'hôpital Alpes-Léman, en France. Parmi ces substances, le paracétamol, le kétoprofène, les détergents non ioniques, la ciprofloxacine, le sulfaméthoxazole et la vancomycine sont retrouvés à des concentrations supérieures dans les rejets hospitaliers comparativement à ceux qui sont urbains. Pour l'aténolol, le propranolol, l'acide salicylique, l'ibuprofène, la carbamazépine, l'éconazole et les détergents cationiques sont mesurés à des concentrations similaires dans les deux types d'eaux usées. Puis, le diclofénac et les détergents anioniques ont des concentrations inférieures dans les rejets hospitaliers comparativement aux rejets urbains. Alors que l'hormone EE2 et les antibiotiques aztréonam et méropénem ne sont pas détectés dans les effluents hospitaliers. (SIPIBEL, 2016)

L'étude de Sim et ses collaborateurs (2010) présente les résultats des échantillonnages des rejets d'un hôpital et de plusieurs effluents municipaux en Corée. Dix composés sont mesurés dans les eaux hospitalières, soit la carbamazépine, l'acide acétylsalicylique, le naproxène, l'ibuprofène, la lincomycine, le sulfaméthoxazole, le triméthoprim, la ciprofloxacine, l'acétaminophène et la caféine. Ces trois dernières sont retrouvées aux concentrations les plus élevées, avec des valeurs de 56,1 mg/l, 45,0 mg/l et 41,9 mg/l, respectivement. Par ailleurs, cette étude souligne les concentrations supérieures de caféine et d'acétaminophène dans les rejets de l'hôpital que dans les effluents municipaux. Alors que les antibiotiques, comme la ciprofloxacine, le sulfaméthoxazole et le triméthoprim ne sont pas retrouvés dans les eaux urbaines. (Sim et al., 2010)

Le groupe de Thomas (2007) expose les résultats d'un échantillonnage, d'une durée de 12 semaines, des effluents de deux hôpitaux de la ville d'Oslo en Norvège. Il relève la présence de paracétamol, de métoprolol, de diclofénac, d'ibuprofène, d'E1, d'E2, d'E3, d'oxytétracycline, de tétracycline, de doxycycline, de chlorotétracycline, de triméthoprim, de ciprofloxacine, de sulfaméthoxazole, de

cyclophosphamide et d'ifosfamide. Alors que la concentration de l'hormone EE2 est restée sous le seuil de la limite de détection des technologies de mesures. (Thomas et al., 2007)

Verlicchi et ses partenaires (2010) effectuent une revue de la littérature en considérant des échantillonnages d'effluents hospitaliers provenant de la France, de la Turquie, de l'Inde, de l'Iran, de l'Italie, de la Thaïlande, de la Grèce et du Canada. Parmi les 56 substances relevées, la concentration de certaines d'entre elles s'élève à plus de  $10^2 \mu\text{g/l}$ , comme l'ibuprofène, le paracétamol, la ciprofloxacine, l'érythromycine, le sulfaméthoxazole, le 5-fluorouracil, l'aténolol, l'iopromide, les composés organiques absorbables (AOX), le gadolinium, le platine, le triclosan et la caféine. (Verlicchi et al., 2010)

Finalement, l'étude menée par Verlicchi (2012) présente 73 composés mesurés dans les eaux usées de deux hôpitaux de la ville de Po Valley, au nord de l'Italie. L'auteur soulève les neuf substances susceptibles d'engendrer des effets néfastes à l'environnement, soit l'acétaminophène, l'ibuprofène, le naproxène, l'acide salicylique, la clarithromycine, l'érythromycine, l'ofloxacine, le sulfaméthoxazole et la fluoxétine. (Verlicchi et al., 2012)

En résumé, les composés les plus souvent mesurés selon les études précédentes risquent de se retrouver dans les eaux usées des hôpitaux du Québec. Parmi ces substances, il y a les analgésiques et les anti-inflammatoires, tels que l'acétaminophène, l'acide salicylique, l'ibuprofène, le kétoprofène et le naproxène ainsi que les antibiotiques, soit la chlorotétracycline, la ciprofloxacine, la clarithromycine, l'érythromycine, la norfloxacine, l'ofloxacine, le sulfaméthoxazole, le triméthoprim et la vancomycine. La présence de l'anticonvulsant : carbamazépine, du bêtabloquant : aténolol, des composés cytotoxiques, comme le cyclophosphamide, l'ifosfamide et le 5-fluorouracil ainsi que des hormones E1, E2 E3 et EE2 peut être également suspectée dans les rejets hospitaliers québécois. Par ailleurs, les détergents non ioniques, le triclosan, la fluoxétine et les médicaments pour le cholestérol, comme l'acide clofibrique, l'atorvastatin, le benzafibrate, le cosprostano et la gemfibrozil, le gadolinium, le platine, la caféine, la lidocaïne et les produits de contraste pour l'imagerie par rayon X, tels que diatrizoate, iopromide et iopamidol peuvent se retrouver dans ce type d'eaux usées.

Bref, ces études permettent d'anticiper les molécules présentes dans les rejets hospitaliers du Québec. Il faut toutefois considérer que certains médicaments peuvent être surutilisés dans certains pays, et moins utilisés d'en d'autres. De plus, certains produits pharmaceutiques peuvent être acceptés à certains endroits, mais interdits à d'autres. Les particularités québécoises concernant la consommation de médicaments sont mises en évidence dans le but de justifier ou infirmer la présence de ces molécules dans les rejets hospitaliers.

### **3.4 Justification des polluants émergents retrouvés dans les effluents hospitaliers québécois**

Suite à l'exposition des produits pharmaceutiques présents dans les rejets des hôpitaux de différents pays, ceux contenus dans les eaux usées des établissements de soins de la province tentent d'être identifiés. Toutefois, peu d'études s'intéressent au contenu global des effluents des hôpitaux québécois. Afin de déduire la composition de ces rejets, les données des quelques études scientifiques sont relevées, les banques de données canadiennes sont consultées, les composés présents dans les eaux de surface sont considérés et la liste des maladies chroniques prédominantes est interprétée.

#### **3.4.1 Données provenant d'études scientifiques**

Quatre études scientifiques peuvent être utilisées pour estimer les PPSP présents dans les eaux usées des hôpitaux.

Premièrement, une étude menée par des chercheurs de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et du MDDELCC élabore le traitement d'une eau usée hospitalière synthétique. Celle-ci est composée de carbamazépine, d'ibuprofène, d'E2 et de venlafaxine. Les auteurs expliquent le choix de ces substances par leur présence dans plusieurs études de caractérisation des rejets hospitaliers à travers le monde. (Ouarda et al., 2018) Ainsi, il est pertinent de suspecter la présence de ces quatre molécules dans les effluents des établissements de soin du Québec.

Deuxièmement, une étude compare différentes techniques analytiques pour identifier cinq composés présentés dans les eaux usées de la ville de Montréal, ces composés sont le cyclophosphamide, le benzafibrate, le méthotrexate, l'énalapril et l'orlistat. (Garcia-Ac, Segura, Viglino, Gagnon et Sauvé, 2011) Ce dernier est un agent antiobésité, il inhibe les lipases gastro-intestinales qui empêchent la décomposition des matières grasses en acides gras dans l'organisme. Une dose de 120 mg doit être prise avant chaque repas, soit trois fois par jour. (Roche Canada, 2015) Ce médicament se consomme dans la vie quotidienne, ainsi les risques de le retrouver dans les eaux usées des hôpitaux est faibles. Alors que les quatre autres composés pourraient être retrouvés dans les rejets hospitaliers.

Troisièmement, une étude, mentionnée à la section 2.1.3, mesure des concentrations de cyclophosphamide et de méthotrexate dans les eaux usées et dans les eaux de surface de la province. (Rabii et al., 2014) Les cytostatiques présentes dans l'environnement proviennent en majorité des rejets hospitaliers. (Halling-Sorensen et al., 1998) Ainsi, la supposition que ces deux molécules soient présentes dans les eaux usées des établissements de soin du Québec est émise.

Quatrièmement, le mercure a été échantillonné dans les effluents d'un grand hôpital de la Ville de Montréal. Dans le cadre d'un essai de maîtrise, un étudiant a mesuré cinq échantillons où les concentrations de mercure étaient de 0,504 µg/l, 0,092 µg/l, 0,109 µg/l, 0,049 µg/l et 0,172 µg/l. À partir de ces résultats, il a estimé à environ 1,5 kilogramme (kg) la charge annuelle en mercure des rejets des établissements de soins de l'île de Montréal. (Pham, 2015) Ceci correspond à 6 % de la charge totale en mercure dans les eaux usées municipales de la ville de Montréal. En effet, selon l'EPA, les hôpitaux contribuent entre 4 % à 5 % à l'apport total de mercure dans les eaux usées urbaines. (US EPA, 2002)

En somme, la carbamazépine, l'ibuprofène, l'hormone E2, la venlafaxine, le cyclophosphamide, le méthotrexate, le benzafibrate, l'enalapril et le mercure sont susceptibles de se retrouver dans les rejets hospitaliers.

### **3.4.2 Banques de données canadiennes**

Afin de compléter le portrait, les médicaments les plus prescrits au Canada et la base de données sur les produits pharmaceutiques (BDPP) sont considérés.

Selon les statistiques, les médicaments les plus prescrits au Canada sont l'amoxicilline et l'atorvastatin avec, respectivement, 3,4 % et 3,1 % de toutes les ventes en médicaments du pays. De ce fait, la présence de ces molécules peut être anticipée dans les rejets. (Robinson et al., 2007)

La BDPP regroupe les substances actives acceptées pour la mise en vente sur le territoire canadien. De même, elle permet de déterminer si les composés exposés au tableau 3.1 sont utilisés au pays. Selon la banque de données, les substances telles que la dipyrone, la phénylbutazone, le chloramphénicol, le clenbutérol et la lincomycine sont seulement tolérées dans les médicaments vétérinaires. Alors que le nifuroxazide, la tilmicosine, le cérazolol, le glibenclamide et le mevastatin ne sont pas disponibles sur le marché canadien. (Santé Canada, 2017b)

### **3.4.3 Polluants retrouvés dans les eaux de surface**

Cette section met en parallèle les polluants retrouvés dans les eaux de surface du Québec, listés au tableau 2.1 et les composés exposés au tableau 3.1. Les substances présentes aux deux tableaux sont sujettes à se retrouver dans les rejets des hôpitaux du Québec. En effet, une substance mesurée dans les cours d'eau du Québec a de fortes chances de provenir des rejets des usines d'épuration. De là, sa source est plus difficilement retraceable, elle peut venir des eaux usées résidentielles, industrielles ou hospitalières. Toutefois, si la substance est présente dans les eaux usées hospitalières d'autres pays (tableau 3.1), il peut être supposé qu'elle provient également des rejets hospitaliers au Québec. Ainsi, les substances identifiées

sont les analgésiques, comme l'acétaminophène, l'acide acétylsalicylique, l'acide méfénamique, l'acide salicylique, l'ibuprofène et le naproxène ainsi que les antibiotiques tels que la chlorotétracycline, la norfloxacine, le sulfaméthoxazole, la tétracycline et la roxythromicyne. Par ailleurs, les quatre hormones, E1, E2, E3 et EE2, l'acide clofibrique, le benzafibrate, le coprostanol, la caféine, la carbamazépine, le cyclophosphamide, la fluoxétine, le NP et le mercure se retrouvent aux deux tableaux comparés.

#### **3.4.4 Maladies chroniques prédominantes**

Pour terminer, les médicaments associés aux principales maladies chroniques affectant la population du Québec sont ressortis. De même, ces médicaments sont plus à risque de se retrouver dans les effluents dus à leur importante utilisation dans la société. L'annexe 9 présente les neuf principales maladies chroniques au Québec, soit l'hypertension, l'arthrite, les allergies alimentaires et non alimentaires, les problèmes de la glande thyroïde, les maladies cardiaques, le diabète, l'asthme, la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) et le cancer. (Institut de la statistique du Québec, 2009) Chaque maladie est associée à une série de médicaments dressée à partir de la *Liste des médicaments utilisés en établissements*, publiée par la Régie de l'assurance maladie du Québec (RAMQ). Cette liste présente les médicaments qu'un hôpital peut fournir et qui sont couverts par le régime d'assurance médicaments. (RAMQ, 2017a et 2017b)

Les médicaments exposés à l'annexe 9 sont comparés aux produits pharmaceutiques présentés au tableau 3.1. Les composés inscrits aux deux listes risquent fortement de se retrouver dans les rejets hospitaliers du Québec. Ces substances sont la cimétidine, la famotidine, la loratadine, la ranitidine, le salbutamol, le cyclophosphamide, l'ifosphamide et le 5-fluorouracil.

### 3.5 Liste exhaustive des polluants émergents dans les effluents hospitaliers du Québec

Cette section présente les molécules susceptibles de se retrouver dans les effluents hospitaliers du Québec. Pour ce faire, les composés énoncés à la section 3.4 sont inscrits au tableau 3.2. De plus, les substances les plus retrouvées dans les rejets hospitaliers des différents pays sont ajoutées, telles que le kétoprofène, l'aténolol, les détergents non ioniques, les antibiotiques, comme la ciprofloxacine, la clarithromycine, l'érythromycine, l'ofloxacine, le triméthoprim et la vancomycine, les métaux, soit le gadolinium et le platine ainsi que les produits de contraste, tels que le diatrizoate, l'iopromide, l'iopamidol et la lidocaïne.

**Tableau 3.2 Liste des principaux polluants émergents présents dans les eaux usées des hôpitaux du Québec**

Catégorie	Substance suspectée dans les effluents	
Analgésique/antiinflammatoire	Acétaminophène	Diclofénac
	Acide acétylsalicylique	Ibuprofène
	Acide méfénamique	Kétoprofène
	Acide salicylique	Naproxène
Antibiotique	Amoxicilline	Norfloxacine
	Chlorotétracycline	Roxythromycine
	Ciprofloxacine	Sulfaméthoxazole
	Clarithromycine	Tétracycline
	Érythromycine	Triméthoprim
	Ofloxacine	Vancomycine
Anticonvulsant/Tranquillisant	Carbamazépine	
Bêtabloquant/antihypertenseur	Aténolol	Salbutamol
	Enalapril	
Cytostatique	Cyclophosphamide	Méthotrexate
	Ifosfamide	5-fluorouracil
Détergent	Non ionique	Triclosan
Droque psychiatrique	Fluoxétine	
Hormone	Estriol (E3)	17 $\alpha$ -éthinyloestradiol (EE2)
	Estrone (E1)	17 $\beta$ -estradiol (E2)
Médicament pour le cholestérol	Acide clofibrigue	Coprostanol
	Atorvastatin	Gemfibrozil
	Benzafibrate	
Métal lourd	Gadolinium	Platine
	Mercure	
Produits de contraste	Diatrizoate	Iopromide
	Iopamidol	
Autre	Caféine	Loratadine
	Coprostanol	Nonylphénol (NP)
	Cimétidine	Ranitidine
	Famotidine	Venlafaxine
	Lidocaïne	



## 4. PERTURBATEURS ENDOCRINIENS PROVENANT DES REJETS DES HÔPITAUX

Ce chapitre souligne les PE provenant des eaux usées des hôpitaux du Québec, selon les substances présentées au tableau 3.2. Par la suite, leurs propriétés physicochimiques sont exposées. Finalement, leurs usages ainsi que leurs comportements dans les eaux usées et dans les eaux de surface sont détaillés.

### 4.1 Identification des PE

Cette section met en évidence les PE suspectés d'être retrouvés dans les eaux usées des hôpitaux du Québec. En effet, les PPSP exposés au tableau 3.2 ne sont pas nécessairement reconnus comme des PE, bien qu'ils polluent les effluents et les eaux de surface. Parmi ces substances, les cytostatiques, comme le cyclophosphamide, l'ifosfamide, le méthotrexate et le 5-fluorouracil, le triclosan, le mercure, les hormones E2 et EE2 ainsi que le NP sont considérés ou suspectés d'être des PE. Ces substances sont distinguées à partir de six listes d'identification des composés dangereux préparées par différentes organisations reconnues.

La première est élaborée par le NIOSH, elle énumère les antinéoplasiques et les autres médicaments dangereux présents dans les établissements de soin de santé. Le cyclophosphamide, le méthotrexate, l'ifosfamide, le 5-fluorouracil ainsi que les hormones E2 et EE2 font partie de cette liste pour leurs effets carcinogènes. (NIOSH, 2016)

La seconde est établie par l'*European Consumer Organisation* (BEUC) et l'*International Consumer Research and Testing* (ICRT). Ces organisations ont analysé les ingrédients de plusieurs produits cosmétiques et mis en évidence les substances actives considérées comme des PE. Le triclosan est inscrit à cette liste. (BEUC et ICRT, 2013)

La troisième liste est mise au point par le Chemsec, elle compte 32 substances reconnues comme des PE, dont le triclosan et le NP. (Chemsec, 2015)

Finalement, trois listes élaborées par la Commission européenne sont utilisées dans le cadre de cet essai, l'une attribue un barème qualificatif en termes de préoccupation, soit faible, moyenne ou forte à 66 substances. Elle classe l'exposition au NP comme une préoccupation moyennement élevée. (Commission européenne, s.d.a) L'autre dresse une liste prioritaire de 564 substances suspectées d'être des PE. Elle comprend, entre autres, le mercure et le cyclophosphamide. (Commission européenne, s.d.b) Puis, la dernière dénombre 33 molécules considérées comme dangereuses, dont le mercure et le NP. (Commission européenne, 2016)

## 4.2 Propriétés physicochimiques des PE

Cette section expose au tableau 4.1 les propriétés physicochimiques des PE identifiés à la section précédente. Les propriétés des antibiotiques et des hormones E1 et E3 sont également présentées. Les premiers sont ajoutés, car ils contribuent à la toxicité des eaux hospitalières. Alors que les hormones sont considérées, puisqu'elles influencent généreusement l'activité estrogénique des rejets des établissements de soins.

Le devenir de ces composés peut être estimé en fonction de leurs propriétés physicochimiques, telles que la tension de vapeur, la constante de Henry, la constante de dissociation acide ( $pK_a$ ), la solubilité ainsi que les dérivés de la constante de dissociation ( $K_d$ ), du coefficient de partage octanol-eau ( $K_{oc}$ ) et du coefficient de partage carbone organique-eau ( $K_{oc}$ ).

Tout d'abord, les valeurs de la tension de vapeur et la constante de Henry permettent d'anticiper le comportement volatil des différentes molécules de la phase aqueuse vers l'atmosphère. Plus spécifiquement, la tension de vapeur est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec la phase solide ou liquide. Plus la valeur de la tension de vapeur est élevée, plus la molécule a tendance à s'évaporer. Une molécule ayant une tension de vapeur plus grande que 760 millilitres de mercure (mm de Hg) est sous forme gazeuse à température ambiante. Alors que la constante de Henry est le rapport entre les concentrations des composés présents dans la phase gazeuse et la phase aqueuse. De petites valeurs de constante de Henry indiquent que les molécules s'échappent faiblement dans l'atmosphère. (Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail [CNESST], 2016; De Champlain, 2011)

Ensuite, la solubilité dans l'eau d'une substance est exprimée en mg/l. Plus la valeur de la solubilité est élevée, plus la substance sera soluble en milieu aquatique et du même fait, plus elle aura un comportement dit hydrophile. Au contraire, une substance avec une faible solubilité aura un comportement plutôt hydrophobe, ce qui suppose qu'elle aura une plus grande affinité avec les MES et les sédiments. (CNESST, 2016)

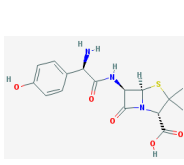
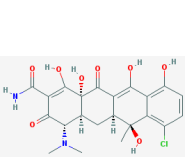
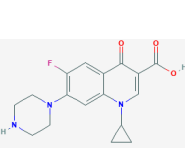
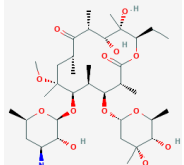
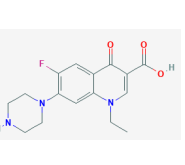
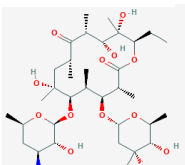
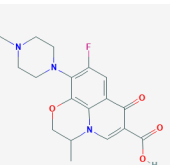
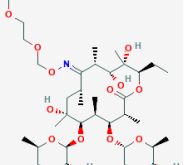
La valeur de  $pK_a$  est un indicateur de la dissociation acide de la substance. Ainsi, elle permet d'estimer le caractère des molécules. En effet, de faibles valeurs de  $pK_a$  signifient que le composé tend à être hydrophile et ionique. (ECCC, 2015)

Le comportement hydrophile ou hydrophobe d'une molécule peut également être déterminé à partir de la valeur du  $K_{oc}$ . Cette dernière correspond à la polarité d'une substance, calculée par le rapport de sa solubilité dans l'eau et dans l'octanol. Elle est généralement exprimée sous la forme de logarithme (log). D'un côté, une substance hydrophobe aura une valeur de  $\log K_{oc}$  élevée et positive, ce qui signifie qu'elle aura tendance

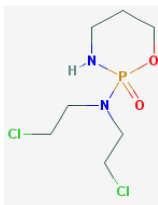
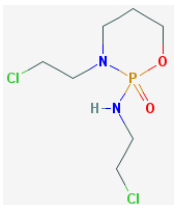
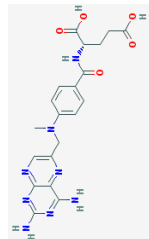
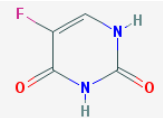
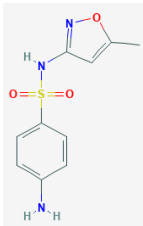
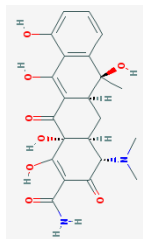
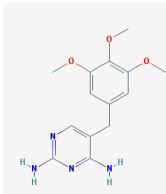
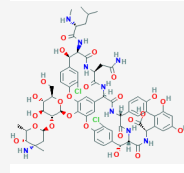
à bioaccumuler plus facilement dans les tissus adipeux des organismes aquatiques. De l'autre côté, une valeur négative de  $\log K_{oc}$  indique que la substance est plutôt hydrophile, elle préférera donc rester dans la phase aqueuse lors du traitement des eaux usées. (ECCC, 2013c)

Le comportement d'une molécule déterminé par les valeurs de solubilité et de  $K_{oc}$ , peut aussi être soutenu par le coefficient  $K_{oc}$ . Ce dernier reflète la capacité de la molécule à s'adsorber sur la matière organique ou les sédiments. À savoir, plus la valeur de  $K_{oc}$  est élevée, plus la substance a tendance à adsorber. (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Agriculture [MAPAQ], Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], et MDDEP, 2012)

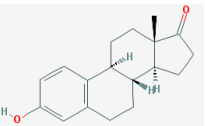
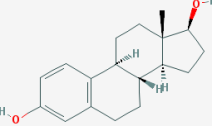
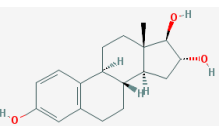
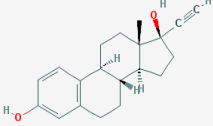
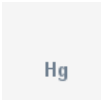
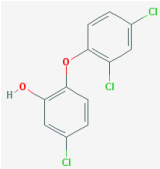

**Tableau 4.1 Propriété physicochimique des PE** (compilé de : National Center for Biotechnology [NCBI], 2017)

Substance/ Propriété	Antibiotique							
	Amoxicilline	Chlorotétracycline	Ciprofloxacine	Clarithromycine	Érythromycine	Norfloxacine	Ofloxacine	Roxythromycine
Numéro CAS	26787-78-0	57-62-5	85721-33-1	81103-11-9	643-22-1	70458-96-7	82419-36-1	80214-83-1
Formule chimique	C <sub>16</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S	C <sub>22</sub> HClN <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>38</sub> H <sub>69</sub> NO <sub>13</sub>	C <sub>37</sub> H <sub>67</sub> NO <sub>13</sub>	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>18</sub> H <sub>20</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>41</sub> H <sub>76</sub> N <sub>2</sub> O <sub>15</sub>
Structure chimique								
Poids moléculaire (g/mol)	365,404	478,882	331,347	747,964	733,937	319,366	361,373	837,058
Constante de Henry (atm*l/mole)	2,5X10 <sup>-21</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Tension de vapeur (mm Hg)	4,69X10 <sup>-17</sup> à 25°C	-	2,85X10 <sup>-3</sup> à 25°C	2,32X10 <sup>-25</sup> à 25°C	2,12X10 <sup>-25</sup> à 25°C	6,8X10 <sup>-13</sup> à 25°C	9,84X10 <sup>-13</sup> à 25 C	-
Solubilité dans l'eau (mg/l)	3430	-	30 000 à 20°C	1,693 à 25°C	2000 à 28°C	17 8000	10 800 à 25 C	0,0189 à 25°C
K <sub>oc</sub>	100	-	61 000	150	570	61 000	44 143	-
Log K <sub>oe</sub>	0,87	-	0,28	3,16	3,06	0,46	-0,39	-
K <sub>d</sub>	-	-	19952	262	-	15848	-	-
pKa	1 : 3,2 2 : 11,7	-	1 : 6,09 2 : 8,74	8,99	8,9	1 : 6,34 2 : 8,75	5,97	-

**Tableau 4.1 Propriété physicochimique des PE (suite)**

Substance/ Propriété	Composé cytostatique				Antibiotique (suite)			
	Cyclophosphamide	Ifosfamide	Méthotrexate	5-fluorouracil	Sulfaméthoxazole	Tétracycline	Triméthoprim	Vancomycine
Numéro CAS	50-18-0	3778-73-2	59-05-2	51-21-8	723-46-6	64-75-5	738-70-5	1404 -90-6
Formule chimique	$C_7H_{15}Cl_2N_2O_2$ P	$C_7H_{15}Cl_2N_2O_2$ P	$C_{20}H_{22}N_8O_5$	$C_4H_3FN_2O$	$C_{10}H_{11}N_3O_3S$	$C_{22}H_{24}N_2O_8$	$C_{14}H_{18}N_4O_3$	$C_{66}H_{75}Cl_2N_9O_2$ 4
Structure chimique								
Poids moléculaire (g/mol)	261,083	261,083	454,4447	130,078	253,276	444,44	290,323	1449,265
Constante de Henry (atm*l/mole)	$1,4 \times 10^{-11}$	$1,4 \times 10^{-11}$	-	$1,7 \times 10^{-10}$	$6,4 \times 10^{-13}$	-	$2,4 \times 10^{-14}$	-
Tension de vapeur (mm Hg)	$6,0 \times 10^{-3}$ à 25°C	$3,0 \times 10^{-5}$ à 25°C	$2,1 \times 10^{-19}$ à 25°C	$2,68 \times 10^{-6}$ à 25°C	$6,93 \times 10^{-8}$ à 25°C	-	$9,99 \times 10^{-9}$ à 25 C	-
Solubilité dans l'eau (mg/l)	0,01-0,05 à 23°C	3780	2600	11 100 à 22°C	610 à 37°C	231 à 25°C	400 à 25 C	-
K <sub>oc</sub>	52	70	1	8	72	-	75	-
Log K <sub>oc</sub>	0,63	0,86	-1,85	-0,89	0,89	-1,37	0,91	-
K <sub>d</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-
pKa	-	-	4,7	8,02	1 : 1,6 2 : 5,7	3,3	7,12	1 : 2,6 2 : 7,2 3 : 8,6 4 : 9,6 5 : 10,5 6 : 11,7

**Tableau 4.1 Propriété physicochimique des PE (suite)**

Substance/ Propriété	Hormone stéroïdienne				Autre		
	Estrone (E1)	17β-estradiol (E2)	Estriol (E3)	17α-éthinyloestradiol (EE2)	Mercure élémentaire	Triclosan	NP
Numéro CAS	53-16-7	50-28-2	19973-76-3	57-63-6	7439 -97-6	3380 -34-5	92-69-3
Formule chimique	C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>20</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	Hg	C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
Structure chimique							
Poids moléculaire (g/mol)	270,372	272,388	288,387	296,41	200,592	289,536	220,356
Constante de Henry (atm*l/mole)	3,8X10 <sup>-10</sup>	3,6X10 <sup>-11</sup>	1,3X10 <sup>-12</sup>	7,9X10 <sup>-12</sup>	-	2,1X10 <sup>-8</sup>	3,4X10 <sup>-5</sup>
Tension de vapeur (mm Hg)	2,49X10 <sup>-10</sup> à 25°C	6,38x10 <sup>-9</sup> à 25°C	9,93X10 <sup>-12</sup>	1,95X10 <sup>-9</sup> à 25°C	1,2 X10 <sup>-3</sup> à 25°C	4,6X10 <sup>-6</sup> à 25°C	8,2X10 <sup>-4</sup> à 25°C
Solubilité dans l'eau (mg/l)	30 à 25°C	3,6 à 27°C	27,34 à 25°C	11,3 à 27°C	insoluble	10 à 20 C	7 à 25 C
K <sub>oc</sub>	457-18 000	30 000	1200	510	-	2400-15 892	32 400
Log K <sub>oc</sub>	3,13	4,01	2,45	3,67	-	4,76	5,76
K <sub>d</sub>	420 (boues)	476 (boues)	21 (sols)	584 (boues)	-	127 (sols)	-
pKa	-	-	10,54	-	-	-	-

### 4.3 Caractéristiques des PE

Cette section présente sommairement les six types de substances toxiques identifiées dans les rejets des hôpitaux du Québec, soit les antibiotiques, les cytostatiques, les hormones stéroïdiennes, le triclosan, le mercure et le NP. Pour chacune d'entre elles, sont exposés, leur utilité, leur dangerosité, leur caractère dans les effluents et dans l'environnement ainsi que leurs impacts sur les organismes aquatiques et sur la santé humaine.

#### 4.3.1 Antibiotiques

Les antibiotiques sont des composés chimiques sécrétés par des microorganismes, ils peuvent également avoir été reproduits en industrie. Ils ont la capacité d'inhiber et d'éliminer d'autres microorganismes n'ayant pas le gène de résistance à la substance ciblée. Ils sont utilisés dans le domaine de la santé afin de prévenir et traiter les infections bactériennes. (Santé Canada, 2009)

Les antibiotiques ne sont pas connus pour avoir des effets sur le système endocrinien, toutefois, leur présence dans les effluents engendre certaines inquiétudes. En effet, ils persistent aux traitements des stations d'épuration et se retrouvent dans les eaux de surface. Le rejet d'importante quantité d'antibiotiques dans l'environnement accroît le nombre de microorganismes résistants aux antibiotiques. (PILLS, 2012) À long terme, les traitements aux antibiotiques pour guérir les infections bactériennes sont menacés, car ils pourraient devenir inefficaces. Les rejets hospitaliers se distinguent des effluents municipaux justement par leur forte concentration en antibiotiques. (Verlicchi et al., 2012) Par le fait même, ces effluents comportent une charge plus élevée en microorganismes résistants aux antibiotiques.

Les antibiotiques rejoignent les eaux usées surtout par les excréments des patients, puisque de 30 % à 90 % de la dose est rejetée sous la forme de substance active. (Alcock et al., 1999) Les antibiotiques et bactéries résistantes sont peu, voire pas du tout, éliminés par les traitements d'épuration des eaux usées, en raison de leur importante solubilité dans l'eau. Ils se retrouvent donc dans les eaux de surface et les sédiments. (Collette-Bregnand et al., 2009; Halling-Sorensen et al., 1998)

Certains antibiotiques, dont la ciprofloxacine et le sulfaméthoxazole peuvent être dégradés par le traitement des eaux usées et par les rayons ultraviolets (UV) solaires, mais leurs métabolites mis à proximité ont la capacité de reformer la substance mère dans les eaux de surface. (Guerra, Kim, Shah, Alae et Smyth, 2014)

Leur affluence dans les plans d'eau provoque un effet nocif sur les organismes aquatiques. Par exemple, l'amoxicilline est reconnue pour engendrer une toxicité chez les cyanobactéries. (Collette-Bregnand et al., 2009; Pan et al., 2008)

### 4.3.2 Cytostatiques

Les cytostatiques suspectées d'être retrouvées dans les eaux usées des hôpitaux sont le cyclophosphamide, l'ifosfamide, le méthotrexate et le 5-fluorouracil. Ils sont reconnus pour leurs effets négatifs sur le système endocrinien et sont inscrits à la liste des antinéoplatiques et autres médicaments dangereux présents dans les établissements de soin de santé élaborée par le NIOSH. En plus, le cyclophosphamide apparaît sur la liste prioritaire des substances liées à des PE de la Commission européenne. (Commission européenne, s.d.b; NIOSH, 2016) Ces médicaments sont utilisés pour traiter certains types de cancers. Par ailleurs, le cyclophosphamide peut aussi être employé pour soigner des maladies neurologiques, le Lupus et des cas d'arthrite tandis que le méthotrexate est usé pour traiter certaines maladies auto-immunes. (Institut et hôpital neurologiques de Montréal, 2009; NIOSH, 2016)

Les cytostatiques sont bénéfiques pour les patients atteints de ces maladies, mais leurs propriétés toxiques peuvent causer des effets néfastes au reste de la population, en particulier aux groupes vulnérables : les enfants, les personnes âgées et les femmes enceintes. Elles peuvent aller jusqu'à engendrer une mutation des cellules, des problèmes de fertilité, des problèmes liés aux naissances et même des cancers. (Collette-Bregnand et al., 2009; Halling-Sorensen et al., 1998; O'Keefe, 2011)

Les patients qui consomment ce type de médicaments en éliminent une bonne quantité encore intacte dans leurs urines et leurs fèces. Par exemple, 5 % à 25 % du cyclophosphamide inaltéré sont excrétés dans l'urine des patients dans les premières 24 h après son absorption. Pour l'ifosfamide, 7 % à 20 % de la molécule complète sont évacuées dans l'urine au cours des six premières heures suivant la prise du médicament. Cette valeur grimpe à 90 % pour le méthotrexate. (Lutterbeck, Baginska, Machado et Kümmerer, 2015a; O'Keefe, 2011) Par la suite, des métabolites toxiques et d'autres sans danger sont éliminés dans les urines et les fèces. Comme énoncé à la section 3.2.2, les excréments de ces patients devraient être traités comme des déchets cytotoxiques, mais ceci est peu effectué en réalité. (ASSTSAS, 2007) Ces médicaments se retrouvent donc dans les eaux usées et ne sont pas totalement retirés par les usines d'épuration. C'est ainsi qu'ils atteignent les eaux de surface. (Halling-Sorensen et al., 1998; O'Keefe, 2011)

Les cytostatiques présentées ont de faibles valeurs de  $\log K_{oc}$  et de  $\log K_{ow}$  (tableau 4.1). Leur propriété hydrosoluble indique qu'elles se trouvent surtout dans la phase aqueuse lors du traitement des eaux usées et dans les eaux de surface. De plus, les valeurs de  $K_{oc}$  supposent qu'elles n'ont pas tendance à bioaccumuler dans les graisses des organismes aquatiques.

Bien que ces molécules puissent engendrer une toxicité, les études démontrent que les concentrations ayant un impact immédiat sur les organismes aquatiques doivent être élevées. En effet, l'ifosfamide possède une



CL<sub>50</sub> de 162 mg/l chez *Daphnia magna*, un petit crustacé planctonique et une CL<sub>50</sub> de plus de 1000 mg/l chez la truite arc-en-ciel, *Salmo gairdneri*. Toutefois les effets chroniques de ces médicaments sur les espèces aquatiques ainsi que les conséquences sur leur cycle de vie complet et sur les générations futures ne sont pas connus. (Buerge, Buser, Poiger et Muller, 2006)

#### 4.3.3 Hormones stéroïdiennes

Les hormones E1, E2 et E3 sont produites naturellement par les glandes stéroïdiennes, alors que EE2 est fabriqué synthétiquement pour différents types de médicaments servant à prévenir les grossesses non désirées ainsi qu'à traiter certains problèmes de santé, comme les dérèglements hormonaux et certains cancers. Les hormones E2 et EE2 sont reconnues pour leurs interactions avec le système endocrinien et sont inscrites à la liste des médicaments dangereux présents dans les établissements de soin de santé du NIOSH. (Collette-Bregnand et al., 2009; De Champlain, 2011; NIOSH, 2016) Alors que les hormones E1 et E3 ont été retenues pour leur contribution à l'activité estrogénique. (SIPIBEL, 2016)

Les hormones naturelles et synthétiques sont excrétées du corps humain par les urines et les fèces et se retrouvent ainsi dans les effluents. Leur présence accentue l'effet estrogénique qui varie généralement entre 0,05 ng/l et 100 ng/l dans les eaux de rejets hospitaliers. Toutefois, l'activité estrogénique peut aussi être amplifiée par les résidus de détergents, de plastifiants et de pesticides. (Maduka, Ezeonu, Neboh, Elvis et Ikekpeazu, 2012; SIPIBEL, 2016)

Le comportement des hormones dans le processus de traitements des eaux usées peut être estimé à partir de leurs propriétés physicochimiques (tableau 4.1). Leur valeur élevée de K<sub>oc</sub> suppose qu'elles se retrouvent majoritairement dans les matières décantables et s'accumulent dans les boues. (Auriol, Filali-Meknassi, Tyagi, Adams et Surampalli, 2006) Cependant, une partie persiste dans la phase aqueuse et trouve le chemin vers les eaux de surface. Ceci a été mesuré dans l'effluent final de l'usine d'épuration de la ville de Montréal. En effet, il contient une importante concentration d'estrogène détectable jusqu'à 50 km en aval de l'île. (Robinson et al., 2007) Malgré la faible affinité des hormones avec l'eau, elles peuvent être déplacées sur de longues distances avant de sédimenter vers le fond des cours d'eau. (Barel-Cohen et al., 2006)

Dans les eaux de surface, les hormones peuvent, d'une part, être décomposées par la biodégradation aérobie. Elles peuvent aussi, dans une moindre mesure, être réduites par photolyse. (De Champlain, 2013) Cette voie s'avère moins efficace pour l'E1 et l'E2, mais est considérable pour l'EE2, surtout en été. (Kuster, Lopez de Alda et Barcelo, 2004; Zhang et Zhou, 2008) D'autre part, les hormones peuvent s'adsorber sur les sédiments et former un réservoir d'hormones dans le lit des cours d'eau. (Kuster et al., 2004)

Leur présence dans les eaux naturelles affecte les organismes aquatiques à de faibles doses de l'ordre du ng/l. Par exemple, l'activité estrogénique engendre une vitellogenèse et une féminisation chez la moule d'eau douce *Elliptio complanta*. Elle est également responsable de la diminution de la production de spermatozoïdes et de la baisse de leur motilité chez le mené à tache noire *Notropis hudsonis*. (Aravindakshan et al, 2004; Blaise et al., 2003) Plus spécifiquement, le EE2 provoque une augmentation de la production d'embryons chez l'escargot *Potamopyrgus antipodarum*. (Jobling et al., 2004) Cette dernière engendre également des problèmes de reproductions, affecte le développement sexuel des mâles et altère le sexe-ratio des populations de poissons *Pimephales promelas* et *Danio rerio*. (Fenske et al., 2005)

Par ailleurs, les hormones peuvent se bioaccumuler dans les espèces aquatiques. Cependant, la bioamplification à travers les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire n'a pas été corroborée. (De Champlain, 2011)

#### **4.3.4 Triclosan**

Le triclosan est présent dans une multitude de produits cosmétiques, santé naturelle, nettoyages et dans les médicaments. Il est utilisé comme agent de conservation pour éliminer et empêcher la prolifération bactérienne. (Santé Canada, 2016) Il est reconnu pour sa toxicité, sa bioaccumulation et sa persistance, en plus d'avoir des effets sur le système endocrinien. (BEUC et ICRT, 2013; Chemsec, 2015) Le triclosan peut affecter les activités estrogéniques, androgéniques et thyroïdiennes à des concentrations près de celles retrouvées dans l'environnement. (Olaniyan, Mkwetshana et Okoh, 2016)

Ce composé interfère avec le système endocrinien en se liant aux récepteurs de différentes hormones. (Jung, An, Choi et Jeung, 2012) Ceci peut engendrer des effets, comme la puberté précoce, une baisse de la fertilité, l'hypospadias, la cryptorchidie, l'asthme chez les enfants et le cancer. (Bertelsen et al., 2013; Stoker, Gibson et Zorrilla, 2010) Aussi, une exposition prolongée au triclosan peut provoquer des réactions allergiques et des dermatites. (Olaniyan et al., 2016)

Le triclosan a la capacité de bioaccumuler et de se répandre dans les tissus humains. En effet, il a été mesuré dans les tissus adipeux, le foie et les ongles à des concentrations plus élevées que celles retrouvées dans l'environnement. Par ailleurs, des taux non négligeables de triclosan ont été estimés dans les fluides biologiques humains, comme le sang, le lait maternel et l'urine. Ces dernières peuvent comprendre des concentrations variant entre 0,16 et 1630 nM. (Olaniyan et al., 2016)

Ainsi, cette molécule se retrouve dans les eaux usées, par les excréments et l'accumulation de produits de soins corporels et ménagers. Une bonne partie est éliminée par les traitements d'assainissement, puisque le triclosan a tendance à être adsorbé sur les boues et les MES. (Heidler et Halden, 2007) Toutefois, une petite

quantité, de l'ordre des nanomoles (nM), reste dans la phase aqueuse et est rejetée dans les eaux de surface. (Guerra et al., 2014; MDDEP, 2011; Snyder et al., 2006; Ying et Kookana, 2007)

Dans les plans d'eau, le triclosan est soumis à des réactions de biodégradation, de photochimie et de photolyse. Cette dernière est l'une des principales voies de dégradation du triclosan, en particulier durant l'été. Par contre, cette réaction est moins efficace pour le triclosan adsorbé aux sols. (Olaniyan et al., 2016) La photolyse dégrade le composé en deux métabolites stables, soit le 2,4-dichlorophénol et le 2,4,6-trichlorophénol en plus d'engendrer la formation de produits mineurs, comme le 2,8-dichlorodibenzodioxine (DCCD) et dichlorohydroxydibenzofurane. Ces métabolites s'avèrent plus toxiques que le produit mère. (Sanchez-Prado et al., 2006) Par ailleurs, environ 5 % du triclosan est dégradé en méthyltriclosan par l'activité microbienne. (Lozano, Rice, Ramirez et Torrents, 2013)

Le triclosan est liposoluble, il a la capacité de s'accumuler dans les organismes de la faune et la flore aquatique, comme, les algues, les invertébrés et les poissons. (Adolfsson-Erici, Pettersson, Parkkonen et Sturve, 2002) Plus particulièrement, les microalgues sont sensibles au triclosan, à des concentrations s'approchant de 0,035 nM. (Wilson et al., 2009) Cette perturbation entraîne un important déséquilibre dans l'écosystème aquatique. La diminution de la masse d'algues favorise la croissance des cyanobactéries qui sont en compétition avec les microalgues pour les ressources disponibles. (Olaniyan et al., 2016) La prolifération de cyanobactéries augmente, par le fait même, la concentration de toxines qu'elles sécrètent. Celles-ci affectent considérablement le zooplancton, dont la diminution de population influence la survie des membres des niveaux trophiques supérieurs. (Blaha, Babica et Marsalek, 2009)

Aussi, le sous-produit de dégradation du triclosan, le méthyltriclosan, a la capacité de bioaccumuler dans les organismes de la faune et la flore aquatiques. Il a été mesuré dans certains poissons d'eau douce à des concentrations de 370 ng/g. (Olaniyan et al., 2016) De plus, des concentrations de 520 à 596 µg/kg ont été rapportées chez la Carpe commune, *Cyprinus carpio*. (Leiker, Abney, Goodbred et Rosen, 2009)

Finalement, la forte présence de triclosan dans les étendues d'eau risque de provoquer d'importantes pertes économiques. En effet, près de 25 millions de tonnes d'algues sont récoltées chaque année pour l'alimentation, les cosmétiques et les engrais, puis transformées en agents épaississants ou additifs alimentaires. (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014)

#### **4.3.5 Mercure**

Près de 60 % du mercure mesuré dans l'environnement dérive des activités humaines. (MDDEP, 2012a) Les hôpitaux contribuent à cette accumulation de mercure dans les milieux naturels. (US EPA, 2002) Il provient surtout des vieux équipements utilisés, des batteries à l'oxyde de mercure et des différents réactifs chimiques (section 3.2.5). (Pham, 2015; MSSS, 2017) Ce métal est inscrit à la liste des substances

préoccupantes et à celle des 33 substances dangereuses de la Commission européenne ainsi qu'à l'annexe 1 de la LCPE. (Commission européenne, s.d.b et 2016; ECCC, 2017b) Sa toxicité dépend de sa forme chimique, soit organique (combiné à du carbone), élémentaire (forme liquide) ou inorganique (combiné à d'autres éléments). Elle varie aussi selon la voie et le niveau d'exposition. (ECCC, 2016)

Dans les eaux usées, le mercure est généralement retrouvé sous sa forme organique ou inorganique. Les traitements en place enlèvent efficacement le mercure des eaux et le déplacent vers les boues, les cendres, les résidus ou l'atmosphère. Toutefois, le mercure est un élément, en ce sens, il ne peut être dégradé en métabolite moins nocif. Le retrait du mercure des eaux usées permet de soulager le milieu aquatique récepteur, mais ne fait, en réalité, que déplacer la source de contamination vers un autre milieu. (ECCC, 2016; Pham, 2015)

Malgré l'efficacité du traitement, une certaine partie ne peut être complètement retirée de la phase aqueuse. Par exemple, la station d'épuration de la ville de Montréal a fixé un OER de 0,005 µg/l pour le mercure, mais ne parvient pas à le respecter. (Pham, 2015)

Le mercure présent dans l'eau de surface peut s'accumuler dans les graisses des organismes aquatiques et d'ailleurs, une bioamplification est observée chez les organismes des niveaux trophiques supérieurs. (ECCC, 2016) En milieu naturel, le mercure inorganique est adsorbé par les MES et voyage avec le courant de l'eau ou se pose au fond des plans d'eau. Dans les sédiments, des bactéries méthanisantes transforment le mercure, à l'aide de matières organiques, en méthylmercure et en diméthylmercure. Le premier est la forme la plus toxique du mercure qui plus est soluble dans l'eau. Ainsi, une fois formé dans les sédiments, le méthylmercure s'en dissocie pour passer vers la phase aqueuse. Grâce à son comportement lipophile, il s'accumule dans les organismes aquatiques. La deuxième forme est très volatile, elle se dégage des sédiments pour aller vers l'atmosphère, où elle peut résider entre 2 mois et 3 ans. (Institut national de l'environnement industriel et des risques [INERIS], 2010) Le mercure élémentaire, quant à lui, a une tension de vapeur qui lui permet de se volatiliser facilement (tableau 4.1). Pour cette raison, il peut se déplacer dans l'air sur de longues distances sous sa forme libre ou accrochée à des particules. (ECCC, 2016; US EPA, 2002; US EPA, 2017b)

Les vapeurs du mercure élémentaire et des méthylmercures sont absorbées plus facilement que les sels de mercure inorganiques en plus d'être nocives. Une contamination aux méthylmercures peut engendrer une altération du développement neurologique des fœtus et des jeunes enfants. Le méthylmercure peut également provoquer des problèmes neurologiques chez l'adulte comme une diminution de la vitesse de mobilité et de la dextérité, de la cécité et des troubles de mémoire. (ECCC, 2016) Les vapeurs de mercure élémentaire sont toxiques lorsqu'inhalées, parce qu'à l'intérieur des voies respiratoires, le mercure se

solubilise dans le sang et perturbe les reins, le cerveau et le système nerveux. (INERIS, 2010) Il peut même entraîner des insuffisances rénales et respiratoires ainsi que la mort. Le mercure inorganique est, quant à lui, toxique lorsqu'il est ingéré, car une fois absorbé par la voie digestive, il peut attaquer les organes. (ECCC, 2016; US EPA, 2002; US EPA, 2017b)

#### **4.3.6 Nonylphénol**

Le NP est un produit chimique intermédiaire, découlant de la réaction entre un phénol et un mélange de nonyl lipophile ramifié ou linéaire. L'ajout de chaînes éthoxylées à la molécule de NP génère des nonylphénols éthoxylés (NPE). Les NPE sont des substances dotées d'une chaîne éthoxylée d'une longueur variant entre 1 et 100 groupes éthoxylates. (Gauthier et al., 2013) Les composés NP et NPE sont reconnus comme un PE par le Chemsec, désignés comme des molécules avec un niveau d'exposition préoccupant par la Commission européenne et inscrits à la liste des substances toxiques de la LCPE. (Chemsec, 2015; Commission européenne, s.d.a; ECCC, 2017b) Ils sont des surfactants non ioniques utilisés dans les détergents, les pesticides, biocides, les produits cosmétiques et pharmaceutiques. (EC et Santé Canada, 2001; Gauthier et al., 2013)

Les NPE et NP se retrouvent dans les effluents des hôpitaux (tableau 3.2). Les stations d'épuration en éliminent une importante concentration, mais une petite quantité persiste quand même dans l'effluent final. Bien que les NPE soient solubles dans l'eau, leur dégradation engendre des NPE à chaînes éthoxylées plus courtes et des NP. Ces derniers étant moins solubles dans l'eau peuvent être retirés de la phase aqueuse par adsorption aux boues. (EC et Santé Canada, 2001) Les composés retrouvés dans l'effluent final sont surtout des produits de dégradation à courte ou sans chaîne éthoxylée, tels que le NP diéthoxylate, le NP monoéthoxylate et le NP. En effet, le NP et l'octylphénol ont été échantillonnés dans les eaux de surface québécoise (tableau 2.1). Ces derniers sont persistants dans l'environnement en plus de posséder une toxicité et une activité estrogénique plus élevée que les substances mères. (Gauthier et al., 2013) La toxicité des NPE est inversement proportionnelle à la longueur des chaînes éthoxylées. (EC et Santé Canada, 2001)

Dans les eaux de surface, les NP et NPE à courtes chaînes éthoxylées sont plus ou moins solubles. Ils ont tendance à s'associer aux MES et aux sédiments. En milieu aquatique, ces substances sont surtout décomposées par la photodégradation, alors que cette voie est moins importante pour les composés adsorbés aux sédiments. (EC et Santé Canada, 2001) Ainsi, une certaine concentration de NPE et NP perdure dans l'écosystème aquatique et engendre une toxicité aiguë et chronique chez plusieurs organismes. Une toxicité aiguë est constatée à des concentrations variant de 17 à 1400 µg/l, 20 à 3000 µg/l et 27 à 2500 µg/l respectivement pour les poissons, les invertébrés et les algues. D'autant plus que des concentrations plus faibles que 6 µg/l et 3,9 µg/l provoquent une toxicité chronique respectivement chez les poissons et les

invertébrés. Le NP possède une activité estrogénique, il peut donc engendrer des problèmes de reproduction chez les organismes aquatiques. D'ailleurs, pour affecter la vitellogenèse, il est 100 000 plus puissants que l'estradiol. Or, en ce qui a trait à l'humain, la toxicité du NP n'est pas déterminée. (EC et Santé Canada, 2001)

## **5. TECHNIQUES DE RÉDUCTION DES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS**

Les technologies en place dans les stations d'épuration ne permettent pas d'éliminer complètement les PE des eaux usées. Les méthodes d'assainissement des effluents, qu'elles soient primaires, secondaires ou tertiaires, sont conçues dans le but de réduire les concentrations en phosphore, azote, composés carbonés, huiles et graisses. (Sauvé, 2012) Leur efficacité est évaluée par des paramètres tels que la demande chimique en oxygène (DCO) et la DBO. Donc, elle ne tient pas compte des taux d'élimination des polluants émergents. (Svenson, Allard et Ek, 2003; Verlicchi et al., 2010)

Ainsi, des PE suspectés ou connus se retrouvent fréquemment dans les effluents traités. Dans le but de restreindre leur accumulation dans les cours d'eau, des mesures de réduction peuvent être mises en place. (noPILLS, 2015; PILLS, 2012)

Ce chapitre présente des méthodes de réductions des PE dans les eaux de surface. Les premières sont des mesures de réduction à la source, soit la ségrégation des flux par les toilettes noMIX et par la récupération directe des urines. La suivante consiste à dépolluer les eaux usées avec des technologies avancées d'assainissement. Pour ce faire, six traitements spécialisés sont retenus et leur efficacité est comparée en fonction d'un outil multicritère, préalablement défini.

### **5.1 Mesure de réduction à la source**

Cette section présente des mesures de réduction des PE, soit l'installation de toilettes noMIX dans les hôpitaux et l'utilisation de sacs à urine. Celles-ci visent à détourner les excréments des patients des eaux usées hospitalières, puisqu'ils en sont la principale source de pollutions en matière de PE.

#### **5.1.1 Toilette noMIX**

La toilette noMix, illustrée à la figure 5.1, est une méthode de réduction des PE dans les eaux usées. Cette toilette n'est pas raccordée à un réseau d'égout municipal, les déchets sont plutôt acheminés à des réservoirs. En effet, les urines sont récupérées vers l'avant alors que les fèces doivent être déposées dans le compartiment arrière. Ainsi, l'efficacité de cette technologie dépend de la bonne volonté de l'utilisateur à séparer ses excréments.



**Figure 5.1 Présentation d'une toilette NoMix et son réservoir** (tiré de : Wikimedia Commons, 2014; Novaquatis, 2007)

Il existe différentes façons d'acheminer le contenu des réservoirs à la station d'épuration. Si cette dernière est située à proximité, le contenu peut être expédié par un réseau d'égout distinct de celui des autres eaux usées municipales. Au contraire, si la station d'épuration est loin, un système de transport par camion peut être mis en place.

Cette technologie se heurte à plusieurs questions de logistiques et de coûts liés à l'installation et aux transports. Par ailleurs, ces toilettes doivent être traitées avec attention. Elles ne peuvent être lavées avec de l'eau, il est plutôt suggéré de les nettoyer quotidiennement avec une solution de 10 % d'acide citrique et un tissu en microfibres. Ainsi, la mise en place de ces toilettes peut être rentable dans les endroits publics, comme les hôpitaux, mais n'est pas abordable pour les particuliers. (Novaquatis, 2007)

### **5.1.2 Sac à urine**

Le sac à urine permet également de détourner une importante concentration de résidus pharmaceutiques des eaux usées. Contrairement aux toilettes NoMix, les poches à urine nécessitent une moins grande organisation, sont moins dispendieuses et donnent un résultat similaire. Pour ce faire, le patient doit simplement uriner dans les sacs pour une durée fixe, puis les rapporter à l'hôpital ou en disposer selon les indications. La figure 5.2 illustre les sacs à urine ainsi que les instructions utilisées dans le cadre d'un projet pilote au Luxembourg. Plus spécifiquement, la poche à urines de couleur verte est conçue pour la femme, alors que celle en gris est destinée aux hommes.





**Figure 5.2 Sacs d'urine lors d'une campagne de séparation des urines (tiré de : noPILLS, 2015)**

Cette campagne de séparation des urines fut réalisée dans le cadre du projet noPILLS en collaboration avec le département de radiologie du centre hospitalier Emile Mayrisch au Luxembourg. Le projet ciblait les patients ambulatoires traités au iobitridol, un produit de contraste pour l'imagerie par rayon X. Ces derniers devaient uriner dans des poches pour les 24 h premières heures suivant son administration, parce que c'est durant cette période que la majorité du iobitridol est excrété de l'organisme.

Lors de ce projet, une réduction de 17 % de l'iobitridol a été enregistrée dans les eaux usées de l'hôpital. Bien que les résultats soient concluants, l'acte d'uriner dans des sacs pourrait être mal reçu par certains patients. Cette perception peut être modulée par une bonne campagne de sensibilisation. (noPILLS, 2015) Elle nécessite également une explication claire de la part des professionnels de la santé. Ces derniers devraient prévoir un 5 à 10 minutes additionnelles avec chaque patient pour s'assurer qu'il comprend bien son rôle et la méthode de fonctionnement de récupération des urines. Cette durée supplémentaire est essentielle dans les débuts de l'implantation du programme. Toutefois, avec le temps, il deviendra normal pour les patients d'uriner dans un sac à la suite de certains traitements. Ainsi, ces délais d'explications ne seront plus nécessaires. (noPILLS, 2015)

La séparation des urines peut viser la réduction d'autres types de composés que l'iobitridol. Par exemple, l'urine des patients traités par thérapie nucléaire ou par des substances cytostatiques pourrait être isolée de cette façon. (Verlicchi et al., 2010)

## 5.2 Outil multicritère

Les PE peuvent également être retirés des eaux usées par l'implantation de technologies de traitement des eaux usées sophistiquées. Les sections suivantes concernent l'évaluation de six technologies différentes. D'abord, la présente partie détaille l'approche utilisée pour comparer les techniques spécialisées d'assainissement des eaux.

L'analyse met en parallèle la capacité d'élimination des substances présentées au chapitre 4, telles que les hormones stéroïdiennes, le triclosan, le NP et les cytostatiques. De plus, une composante concerne l'écotoxicité des effluents traités à l'égal de l'effet bactéricide, qui permet d'évaluer le rendement d'élimination des antibiotiques susceptibles d'être retrouvés dans les eaux usées des hôpitaux du Québec.

Bien que le mercure soit mentionné au chapitre 4, il n'a pas été possible de trouver ses taux d'élimination par les technologies de traitements étudiés. De ce fait, il n'est pas considéré dans le cadre de cette analyse.

Les six composantes sont généralement divisées en critères, détaillés à la section 5.3. Outre l'écotoxicité, les critères sont évalués sur une échelle de 1 à 5, selon le barème présenté à la figure 5.3.

Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
0-39 % (1)	40-59 % (2)	60-79 % (3)	80-90 % (4)	91-100 % (5)

**Figure 5.3 Présentation des niveaux d'évaluation des critères**

Chaque note est associée à un intervalle de pourcentage d'élimination. Toutefois, les scores ne sont pas divisés uniformément. Cette inégalité permet de repérer plus facilement les substances ayant de bons taux d'enlèvement. En effet, un taux d'élimination inférieur à 40 % correspond à la note de 1, alors que les taux de retrait de 40 % à 59 % et de 60 % à 79 % obtiennent respectivement les cotes de 2 et 3. Finalement, les niveaux 4 et 5 représentent de plus petits intervalles, soit de 80 % à 90 % et de 91 % à 100 % respectivement.

Chaque critère se voit octroyer une note sur 5, en fonction du pourcentage d'élimination associé. La valeur de la composante équivaut à la moyenne des notes de chacun des critères et reçoit donc aussi une note sur 5. Cette valeur permet de comparer les composantes sur une base uniforme.

Finalement, un pourcentage d'efficacité globale est obtenu pour chaque traitement. Il met en évidence les meilleures technologies pour éliminer les PE retrouvés dans les eaux usées des hôpitaux du Québec. Les résultats sont présentés à la section 5.5.

### **5.3 Composantes d'évaluation**

Cette section définit les six composantes utilisées pour comparer les technologies de traitements des eaux usées, soit l'écotoxicité, les hormones stéroïdiennes, le triclosan, le NP, les cytostatiques et l'effet bactéricide ainsi que les critères qui y sont associés.

#### **5.3.1 Écotoxicité**

La composante de l'écotoxicité permet d'anticiper la toxicité de l'effluent final. Pour l'évaluer, quatre critères sont cotés. Ils ne sont pas mesurés selon les niveaux 1 à 5 exposés à la section 5.1. Ils se répondent plutôt par oui ou non. Une réponse affirmative correspond à la note 1 puisqu'elle tend à augmenter la toxicité de l'effluent. À l'opposé, une réponse négative équivaut à la note 5, car elle favorise l'innocuité des eaux traitées. Ainsi, plus le résultat de cette composante est élevé, plus le traitement est inoffensif pour l'environnement. Cette toxicité est déterminée en fonction de quatre critères. Le premier correspond à la création de substances toxiques. Par exemple, l'ozonation du triclosan engendre des dérivés chlorés, plus nocifs pour les organismes aquatiques que la substance mère. (Olaniyan et al., 2016)

Le deuxième critère cherche à déterminer si le traitement engendre une saumure devant être épurée à nouveau. Tout comme la technologie de l'osmose inversée (OI) occasionne une eau très concentrée en polluants devant être clarifiée avant d'être éliminée. (Traitement des eaux, s.d.)

Le troisième critère porte sur la nécessité d'épurer l'effluent total à la suite du traitement subi. Par exemple, les scientifiques recommandent fortement d'ajouter une étape de filtration aux effluents purifiés à l'ozone (O<sub>3</sub>), en raison des produits d'oxydation toxiques pouvant être formés. (Verlicchi et al., 2015)

Le dernier critère cherche à savoir si le traitement engendre une contamination supplémentaire. Comme les traitements de dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) combiné avec l'UV et photo-Fenton apportent respectivement des composés TiO<sub>2</sub> et des hydroxydes de fer aux effluents. (PILLS, 2012; Zaviska, Drogui, Mercier et Blais, 2009)

#### **5.3.2 Hormones stéroïdiennes**

La composante des hormones stéroïdiennes comprend quatre critères qui équivaut aux pourcentages d'élimination de chacune des hormones soit, E1, E2, E3 et EE2.

### **5.3.3 Triclosan et nonylphénol**

Les rendements d'élimination du triclosan et du NP sont présentés par des composantes distinctes. Par ailleurs, celles-ci n'englobent pas de critères secondaires. Leur résultat correspond respectivement à leur taux de retrait par la technologie étudiée.

### **5.3.4 Cytostatiques**

La composante des substances cytotoxiques est semblable à celle des hormones stéroïdiennes. Elle comprend quatre critères équivalant à l'élimination du cyclophosphamide, de l'ifofamide, du méthotrexate et du 5-fluorouracil.

### **5.3.5 Effet bactéricide**

Cette composante s'intéresse à la capacité de retrait des bactéries. Elle est déterminée en fonction des rendements d'extraction des différents antibiotiques, considérant que ce sont les microorganismes qui produisent ce type de substances. (Santé Canada, 2009) La valeur de cette composante égale à la moyenne d'élimination des antibiotiques les plus susceptibles d'être retrouvés dans les eaux usées des hôpitaux québécois, tels l'amoxicilline, la chlorotétracycline, la ciprofloxacine, la clarithromycine, l'érythromycine, la norfloxacine, l'oxofloxacine, la roxythromycine, le sulfaméthoxazole, la tétracycline, le triméthoprim et la vancomycine.

Toutefois, certains pourcentages d'élimination n'ont pas été retrouvés dans la documentation. C'est le cas, entre autres, de la chlorotétracycline et de la vancomycine. Ainsi, la moyenne est calculée en fonction des données repérées dans la littérature, soit à l'aide de 3 à 7 notes, dépendamment des traitements.

## **5.4 Techniques spécialisées de traitement des eaux**

Cette section présente les six technologies retenues pour éliminer les PE ainsi que leurs résultats aux composantes, précédemment détaillées. Ces techniques sont la filtration sur charbon activé, l'OI et plusieurs procédés d'oxydation avancée (POA), tels qu'un traitement à base d'O<sub>3</sub>, de rayons UV et du réactif de Fenton. Afin d'optimiser les rendements des technologies présentées, elles doivent être précédées d'une filtration adéquate, comme un traitement aux boues activées (BA) ou par un réacteur biologique à membrane (RBM). (PILLS, 2012)

#### 5.4.1 Filtration sur charbon activé

La filtration par charbon activé, également appelée carbone activé, a un grand potentiel pour éliminer les PPSP des eaux en les attirant sur la surface de sa membrane composée de carbone. (Verlicchi et al., 2010) La filtration sur charbon activé peut être employée de deux façons, soit en poudre (CAP) ou sous forme granulaire (CAG). (PILLS, 2012) Le plus utilisé est le CAP combiné à un système de dosage qui régule sa concentration. Les inconvénients de cette technique résident dans sa régénération thermique et son élimination. La première engendre une forte consommation énergétique alors que la deuxième doit être effectuée par remblayage spécialisé. (Syndicat des industriels des équipements du traitement et de l'analyse de l'eau [SIET], 2014; Verlicchi et al., 2010)

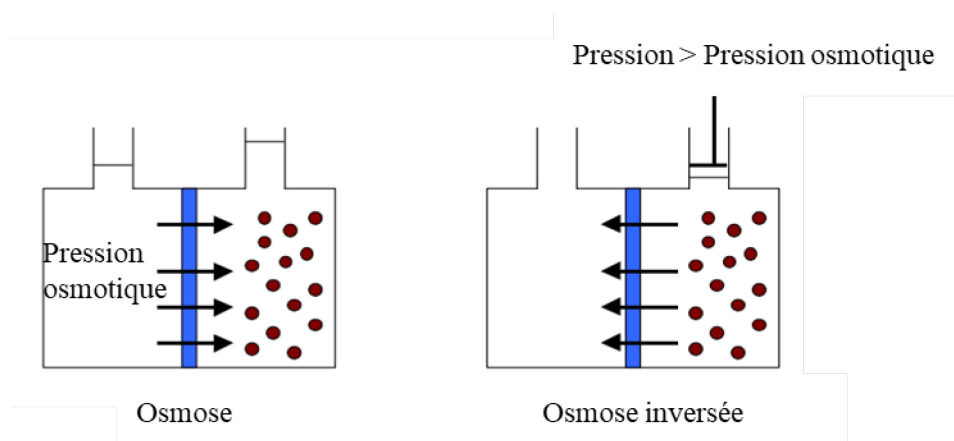
Le charbon peut adsorber une importante quantité de molécules organiques. En effet, une dose de 8 mg/l permet d'extraire une bonne proportion de PPSP à des taux d'élimination de plus de 80 %. (SIET, 2014; Verlicchi et al., 2015) En particulier, les composés non polaires et hydrophobes ayant un  $\log K_{oc} > 2$ . Parmi les molécules détaillées au chapitre 4, le triclosan est retiré à plus de 80 %, alors que les antibiotiques, le NP et les hormones stéroïdiennes sont éliminés à plus de 90 %. (Choubert et al., 2012; Robinson et al., 2007; Snyder et al., 2006; Tran, 2016) Toutefois, à une dose de 8 mg/l, le cyclophosphamide et l'ifosfamide ont des rendements de près de 40 % et 20 %, respectivement. (Verlicchi et al., 2015) Ce qui peut s'expliquer par leur faible valeur de  $\log K_{oc}$ . Dans le même ordre d'idée, des pourcentages similaires d'élimination ont été attribués au méthotrexate et au 5-fluorouracil.

Une concentration de 450 ml/l de charbon permet le retrait du cyclophosphamide et de l'ifosfamide à 75 % et 95 %, respectivement. Néanmoins, cette concentration n'est pas rentable considérant que la plupart des composés peuvent être éliminés, avec des rendements appréciables, dès 8 ml/l de carbone. (Verlicchi et al., 2015)

En plus d'avoir de bons taux d'élimination pour la majorité des polluants, la filtration sur charbon activé n'engendre pas de toxicité supplémentaire des eaux traitées.

### 5.4.2 Osmose inversée

L'osmose permet d'équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane. Ce phénomène, présenté à la figure 5.4, est observable dans la nature, entre autres à travers les membranes cellulaires. La différence de concentration de chaque côté de la membrane engendre la pression osmotique. À l'opposé, l'OI travaille contre cette pression osmotique. Elle consiste à faire traverser les eaux usées à travers une membrane dense en appliquant une pression d'une dizaine de bars. La fine membrane laisse passer les molécules d'eau, alors qu'elle bloque les polluants qui restent emprisonnés dans la saumure. Autrement dit, l'OI accumule une eau très concentrée, chargée en sels minéraux et molécules en amont de la membrane. (Fonds national pour le développement des adductions d'eau [FNDAE], 2002)



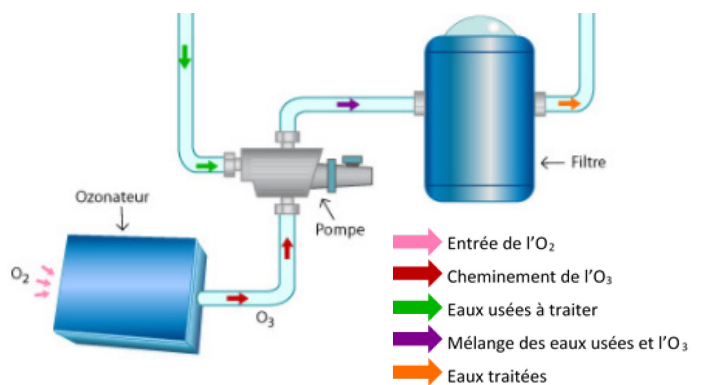
**Figure 5.4 Présentation du principe de l'osmose inversée** (modifié de : FNDAE, 2002)

Ce traitement élimine entre 95 % et 99 % des particules présentes dans les eaux. Plus spécifiquement, il supprime plus de 90 % de E1 et des cytostatiques étudiées. (Robinson et al, 2007; PILLS, 2016; Busetti, Ruff et Linge, s.d.) Aussi, il enlève plus de 80 % du NP et des antibiotiques des eaux usées. Par contre, l'OI ne parvient qu'à éliminer entre 30 % et 70 % des hormones E2, E3, EE2 et du triclosan. (Choubert et al., 2012; noPILLS, 2015; Ricart et al., 2010; Verlicchi et al., 2015)

L'un des inconvénients de cette méthode est la perte d'environ 25 % de l'eau à assainir. Elle demeure donc avec les contaminants et doit être traitée à nouveau avant d'être disposée. Ceci lui vaut sa faible note en ce qui a trait à l'écotoxicité de l'effluent final. Par ailleurs, cette technique est très énergivore, en raison de la pression devant être exercée sur la membrane. Puis, la membrane, très coûteuse, doit être remplacée régulièrement. (SIET, 2014; Traitement des eaux, s.d.)

### 5.4.3 Ozonation

L'ozonation utilise l' $O_3$  pour désinfecter les eaux. Le processus d'ozonation est présenté à la figure 5.5. D'abord, l' $O_3$  est produit à partir d'oxygène ( $O_2$ ) qui subit un champ électrique variant entre 4 à 20 kV. Par la suite, l' $O_3$  est injecté dans les effluents et oxyde les polluants soit de manière directe ou indirecte. (Ooreka, s.d.)



**Figure 5.5 Présentation du traitement à l' $O_3$**  (modifié de : Ooreka, s.d.)

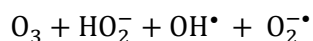
D'une part, l' $O_3$  oxyde les polluants par oxydation directe. Il s'attaque spécifiquement aux substances solubles, aromatiques, aminées, soufrées ou ayant des liaisons doubles. Il réagit plus rapidement avec les molécules dans l'eau que celles adsorbées à la matière organique. De même, s'il y a davantage de particules organiques, le taux d'élimination d'un polluant spécifique est réduit. (Verlicchi et al., 2010) D'autre part, une oxydation indirecte s'effectue à l'aide de l'intermédiaire ion hydroxyle ( $OH^\bullet$ ) qui dégrade tous les types de polluants. (SIET, 2014; Zaviska et al., 2009)

L'ozonation réduit les activités estrogéniques et bactéricides des eaux usées. (PILLS, 2012; Zaviska et al., 2009) Elle permet d'éliminer 95 % du triclosan et entre 94 % et 99 % des hormones stéroïdiennes étudiées à des doses de 0,53 g  $O_3$ /g de matières organiques. (Olaniyan et al., 2016; Pereira, Lopez de Alda, Joglar, Daniel et Barcelo, 2011) Toutefois, la réaction d'oxydation des estrogènes est ralentie lorsque leurs concentrations dans l'eau s'abaissent sous les 100 ng/l. (Pereira et al., 2011) Par ailleurs, cette technique dégrade complètement les antibiotiques à des doses de 0,64 g  $O_3$ /g de matières organiques et un temps de contact entre 12 et 23 minutes. (Verlicchi et al., 2015) À ces paramètres, 20 % d'ifosfamide et 30 % de cyclophosphamide sont éliminés. Des concentrations d' $O_3$  plus importante telles que 7,8 g  $O_3$ /g DOC permettent de retirer respectivement 95 % et 80 % de ces composés cytotoxiques. (Chen et al., 2012; Olaniyan, 2016; Verlicchi et al., 2015) Des valeurs similaires d'élimination sont anticipées pour les autres substances cytotoxiques. Toutefois, l'ozonation ne parvient pas à retirer plus de 30 % du NP des eaux usées. (Choubert et al., 2012)

Les principaux inconvénients du traitement à l'O<sub>3</sub> sont dus à l'importante consommation d'énergie, la faible solubilité de l'O<sub>3</sub> dans l'eau et la sensibilité du traitement aux variations de pH, de température, etc. (Magdeburg, Stalter, Schlüsener, Ternes et Oehlmann, 2014; Verlicchi et al., 2010; Zaviska et al., 2009) De plus, l'ozonation favorise la formation de sous-produits d'oxydation, comme les bromates pouvant avoir des effets néfastes sur l'écosystème. (Verlicchi et al., 2015) Un autre exemple, l'ozonation du triclosan engendre des dérivés chlorés, soit le monohydroxy-triclosan et le dihydroxy-triclosan. (Chen et al., 2012) Ceux-ci sont reconnus pour être plus nocifs pour les organismes aquatiques que la substance mère. (Olaniyan et al., 2016) De ce fait, il est suggéré d'ajouter une étape de filtration à la suite d'un traitement par ozonation. (Verlicchi et al., 2015)

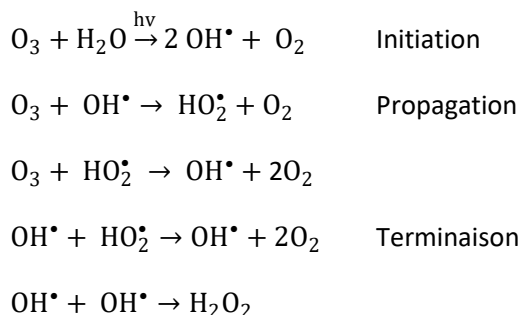
Afin d'améliorer l'efficacité du traitement, l'O<sub>3</sub> peut être combiné avec du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ou un rayonnement UV. Ceux-ci sont généralement plus efficaces que l'ozonation seule. Toutefois, ils ne sont pas considérés pour la comparaison des technologies dans le cadre de cet essai, en raison du peu d'informations retrouvées dans la littérature concernant leurs taux d'élimination pour les substances présentées au chapitre 4.

D'un côté, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> amplifie la production de OH• (figure 5.6). Ce dernier réagit alors avec les polluants dans les eaux usées et assure leur dégradation. En pratique, un temps de contact de 10 minutes est suffisant pour obtenir de bons taux d'élimination.



**Figure 5.6 Réaction de l'O<sub>3</sub> avec la forme ionisée d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** (inspiré de : Zaviska et al., 2009)

D'un autre côté, l'O<sub>3</sub> en solution aqueuse absorbe les rayons UV et favorise la production d'ions OH•, tel qu'illustré à la figure 5.7. Par ailleurs, les photons peuvent également cliver des liaisons carbone-halogène. (Verlicchi et al., 2010)



**Figure 5.7 Réaction de l'O<sub>3</sub> dans une solution aqueuse en présence de rayons UV** (inspiré de : Zaviska et al., 2009)

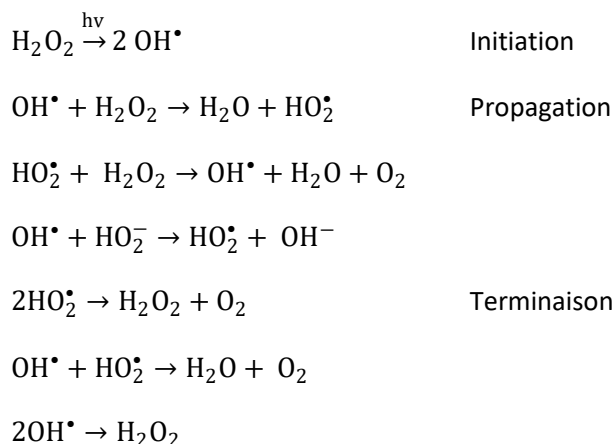


#### 5.4.4 Traitement UV

Ce traitement consiste à exposer les eaux usées à des rayons UV. Ces derniers permettent la dégradation des molécules qui absorbent à ses longueurs d'onde, telles que les substances ayant un groupement aromatique, une liaison double ou une liaison triple. (SIET, 2014) De ce fait, il réduit les microorganismes présents dans les effluents, près de 80 % des hormones et entre 50 % et 80 % du triclosan. (Olaniyan et al., 2016; Pereira et al., 2011) Toutefois, pour atteindre un taux d'élimination plus grand que 95 % pour E2 et EE2, l'intensité du rayonnement UV doit être supérieure à 4 000 mJ/cm<sup>2</sup>, ce qui augmente les couts. (Verlicchi et al., 2015) De plus, la dégradation des substances mères engendre des métabolites plus toxiques et plus résistants. (PILLS, 2012)

Les procédés d'oxydation combinés aux traitements UV accroissent les rendements d'élimination des substances présentes dans les eaux usées. (Demonstration of promising technologies to adress emerging pollutants in water and waste water [DEMEAU], 2012) Le traitement aux UV peut être conjugué avec l'O<sub>3</sub>, le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ou le TiO<sub>2</sub>. La première combinaison est présentée à la section précédente à l'aide de la figure 5.7.

Le second couplage, illustré à la figure 5.8, permet d'accélérer la décomposition de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en HO•. Cette combinaison est l'un des procédés d'oxydation avancée les plus efficace. (Giannakis et al., 2015) Il permet une dégradation supérieure à 90 % pour plusieurs polluants, dont les hormones stéroïdiennes, le 5-fluorouracil, le méthotrexate, le NP et le triclosan. (Lee, 2015; Lutterbeck et al., 2015b; Lutterbeck, 2015c) Par ailleurs, ce jumelage permet de réduire la consommation énergétique du rayonnement UV. (PILLS, 2012)



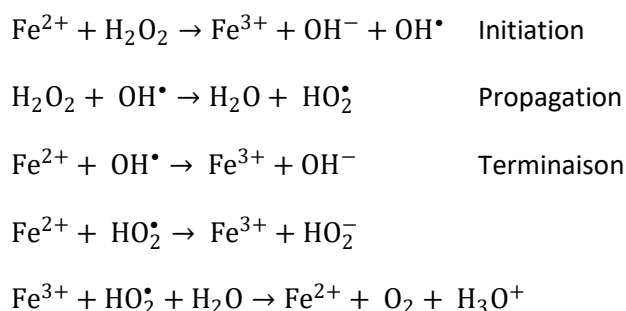
**Figure 5.8 Réaction radicalaire de la décomposition du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** (inspiré de : Zaviska et al., 2009)

Nonobstant, cette combinaison permet d'éliminer seulement 10 % du cyclophosphamide et de l'ifosfamide lorsque la dose d'UV est de 6440 J/m<sup>2</sup>. Lorsque cette valeur augmente à 29 700 J/m<sup>2</sup>, leur taux d'élimination grimpe à plus de 70 %. Toutefois, le renforcement de la dose d'UV engendre des consommations énergétiques plus importantes. Cette constatation est valable pour plusieurs polluants. À faible dose de rayon UV, l'élimination des antibiotiques est variable, l'amoxicilline, l'érythromycine et la norfloxacin ont des taux d'élimination sous 60 %. Alors que la ciprofloxacine, la clarithromycine et le sulfaméthoxazole ont des pourcentages d'élimination supérieurs à 80 %. (Verlicchi et al., 2015)

Le troisième appariement combine les UV avec le photocatalyseur TiO<sub>2</sub>. Une fois activé par les rayons UV, le TiO<sub>2</sub> dégrade les polluants en formant des radicaux OH• à la surface des molécules lorsqu'elles absorbent la lumière UV. L'utilisation du TiO<sub>2</sub> engendre quelques inconvénients puisqu'il est difficilement retiré des eaux usées et que son action nécessite plusieurs heures avant d'atteindre des taux de dégradation acceptables pour différents composés. De plus, il est plus énergivore que l'ozonation. (Zaviska et al., 2009) Les hormones E1 et E2 sont éliminées à 50 % et 55 % après 75 h de radiation. Des taux similaires d'élimination sont estimés pour E3 et EE2. (Zhang et Zhou, 2008) Les antibiotiques ne sont pas éliminés efficacement par ce traitement. (Verlicchi et al., 2015) Pour le triclosan et les cytostatiques, ils sont retirés entre 16 minutes et 6 h avec des concentrations de TiO<sub>2</sub> variant de 0,1 à 1,5 g/L. Les taux d'élimination sont de 82 % pour le triclosan, plus de 90 % pour le NP, 72 % pour le méthotrexate, 16 % pour le cyclophosphamide, 50 % pour l'ifosfamide et 99 % pour le 5-fluorouracil. (Son, Ko et Zoh, 2009; Lai, Lin et Lin, 2015; Lutterbeck et al., 2015a; Lutterbeck et al., 2015b)

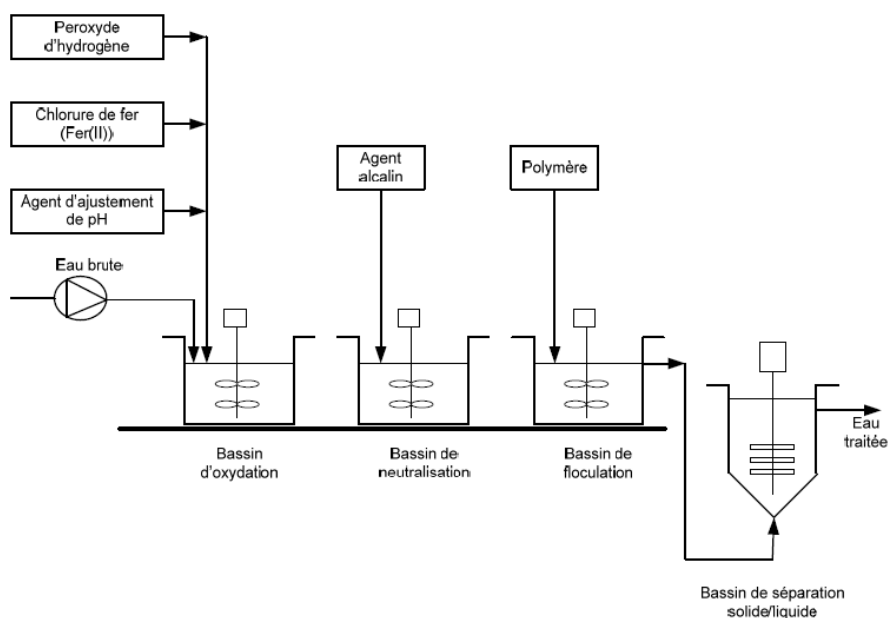
#### 5.4.5 Oxydation de Fenton

Le réactif de Fenton correspond au couplage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> avec le fer(II). Ce dernier décompose le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> afin de former des radicaux OH•. Cet ion réagit ensuite avec les polluants des eaux usées pour les dégrader. La réaction radicalaire est exposée à la figure 5.9. (PILLS, 2012; Zaviska et al., 2009)



**Figure 5.9 Réaction radicalaire de la décomposition du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par les ions ferreux** (inspiré de : Zaviska et al., 2009)

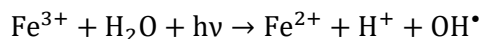
La figure 5.10 illustre les quatre étapes du procédé de Fenton, soit l'ajustement du pH, l'oxydation, la neutralisation, la coagulation et précipitation. Pour être efficace, cette réaction doit être réalisée dans un milieu acide, c'est-à-dire que le pH doit se situer entre 2 et 4. Un pH plus élevé entraîne une précipitation du fer et la formation d'hydroxydes de fer. De ce fait, l'activité catalytique du fer est réduite et le procédé devient moins efficace. Par ailleurs, le retrait de l'hydroxyde de fer des eaux engendre des coûts supplémentaires. (Zaviska et al., 2009)



**Figure 5.10 Traitement des eaux usées par procédé de Fenton** (tiré de : Zaviska et al., 2009)

Il est possible d'utiliser des ligands organiques qui se lient au fer et permettent de réaliser la réaction à pH plus élevé. Ces ligands diminuent la formation d'hydroxyde de fer. Toutefois, ils peuvent également réagir avec l'ion  $\text{OH}^\bullet$  et rendent plus difficile le retrait du fer par précipitation. (Zaviska et al., 2009)

Cette technique exploitant le couple  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  est plus efficace que l' $\text{H}_2\text{O}_2$  seul. Cependant, il est moins puissant que le procédé photo-Fenton. Dans ce cas, la méthode de Fenton est couplée aux rayonnements UV. Ces derniers augmentent le taux de radicaux libres dans les eaux. D'un côté, par la stimulation de la réduction du  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  illustrée à la figure 5.11. De l'autre côté, en provoquant la dégradation de  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{HO}^\bullet$  montré à la figure 5.8. (Zaviska et al., 2009)



**Figure 5.11 Réduction du  $\text{Fe}^{3+}$  par les rayons UV** (inspiré de : Zaviska et al., 2009)

Le procédé photo-Fenton permet d'enlever 40 % des composés estrogènes. (Pereira et al., 2011) Le triclosan et le NP sont dégradés à plus de 90 % lors de ce traitement. (Cokay et Oztamer, 2017; Cui et al., 2015; Lee, 2015; Verlicchi et al., 2010) Le cyclophosphamide, le 5-fluorouracil et le méthotrexate sont éliminés à 100 % respectivement en 2, 4 et 8 minutes. (Lutterbeck et al., 2015b; Lutterbeck, 2015c; Lutterbeck, Machado et Kümmerer, 2015d) De plus, cette méthode parvient à retirer complètement les antibiotiques tels que le sulfaméthoxazole, la tétracycline, la norfloxacine et l'amoxicilline. (Elmolla et Chaudhuri, 2009; Epold, Dulova, Veressinina et Trapido, 2012; Hansel et al., 1997; Zhang, Jia, Peng, Ma et Ou, 2014)

## 5.5 Comparaison des différentes technologies

Cette section présente les résultats des composantes pour chacune des technologies sous forme de graphique en radar. Ce type de représentation, illustré à la figure 5.12, permet de comparer facilement les différentes catégories pour chacun des traitements. Le détail des notes attribuées aux composantes est disponible à l'annexe 10. Par ailleurs, chaque technologie obtient un pourcentage d'efficacité d'élimination, calculé à l'aide des scores de ces composantes. Ainsi, les traitements peuvent être classés par ordre décroissant de rendement d'efficacité. Les techniques ayant les meilleures cotes sont l' $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , le charbon activé, le photo-Fenton et l'OI avec des rendements respectivement de 85,0 %, 84,2 %, 83,3 % et 76,9 %. Alors que les méthodes d'ozonation et de  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  récoltent des pourcentages de 65,0 % et 60,3 %, respectivement.

Malgré l'obtention de taux supérieurs à 80 % pour trois des technologies, leur efficacité d'élimination n'est pas optimale pour toutes les catégories de polluants. En effet, aucun traitement ne parvient à se démarquer réellement, comme le montre la figure 5.12.

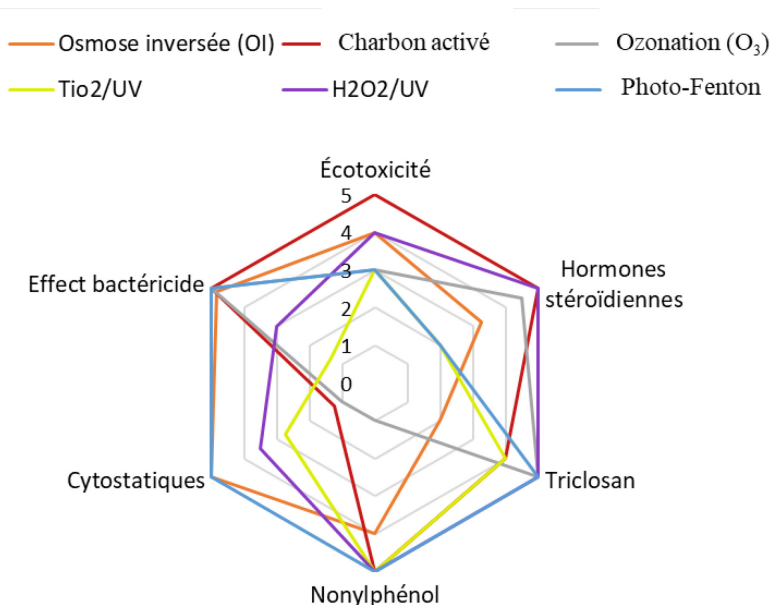


Figure 5.12 Présentation des résultats des six traitements avancés selon les six composantes

Chaque traitement comporte ses avantages et ses inconvénients. De même, comme illustrée à la figure 5.12, aucune technique n'obtient une note parfaite pour les six composantes. Les trois technologies ayant reçu les pourcentages d'efficacité les plus élevés présentent des rendements assez bas pour l'une ou l'autre des catégories.

Le traitement  $H_2O_2/UV$  est l'un des procédés d'oxydation avancée le plus bénéfique. (Giannakis et al., 2015) Il est distingué en violet dans le graphique ci-haut. Cette technologie peut éliminer facilement les hormones stéroïdiennes, le triclosan et le NP. Toutefois, elle est moins efficace pour réduire les cytostatiques, les antibiotiques et l'écotoxicité des effluents finaux.

Quant au traitement photo-Fenton présenté en bleu à la figure 5.12, il est infailible pour diminuer l'effet bactéricide, la concentration de substances cytotoxiques, le triclosan et le NP. Cependant, il est moins bénéfique pour le retrait des hormones stéroïdiennes et en ce qui a trait à la toxicité des effluents à la fin du traitement.

La technique de filtration sur charbon activé est présentée en rouge à la figure 5.12. Elle engendre l'innocuité de la décharge finale et donne des taux d'élimination élevés pour le NP, les antibiotiques et les hormones stéroïdiennes. Mais, les rendements pour les composés cytostatiques et le triclosan sont plus faibles.

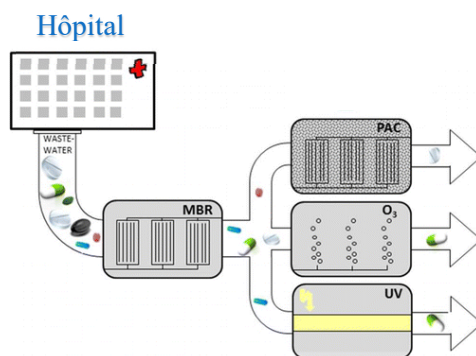
En somme, aucun traitement ne parvient à atteindre plus de 90 % pour toutes les six catégories. C'est pourquoi il est plus avantageux de combiner différents types de technologies afin d'assurer le retrait complet des polluants.

## **5.6 Traitement multibarrière**

La combinaison des traitements permet d'exploiter plusieurs propriétés physicochimiques et donc, favorise un meilleur rendement d'élimination des polluants. (UE, 2004)

Différents enchainements de technologies peuvent être mis en place en fonction du budget disponible et des types de polluants régulièrement retrouvés dans les rejets. L'approche multibarrière s'amorce généralement avec une filtration par BA ou RBM. Ces derniers permettent le retrait des matières organiques de la phase aqueuse. Ils ne dégradent pas les substances chimiques persistantes, mais limitent leur propagation dans la phase aqueuse en les emprisonnant dans les boues. (Verlicchi et al., 2010)

Ceux-ci peuvent être associés à un traitement à l' $O_3$ , aux UV ou au charbon activé comme l'illustre la figure 5.13. Lors du projet PILLS, ces combinaisons ont atteint des résultats satisfaisants. (PILLS, 2012)



**Figure 5.13 Combinaisons de traitements des eaux usées** (modifié de : Kovalova, 2013)

Le RBM peut également être conjugué à un traitement de  $H_2O_2/UV$  ou d'OI. (PILLS, 2012) D'autres combinaisons se sont avérées aussi efficaces, comme la filtration sur sable conjuguée avec ozonation et la filtration sur charbon activé associée à l'ultrafiltration. (Margot et Magnet, 2011)

L'assainissement des effluents hospitalier permet d'éliminer une importante quantité de composés pharmaceutiques, toutefois, leur extraction totale est peu réaliste. Malgré la mise en place d'appareils à la fine pointe de la technologie, il est possible qu'il reste des polluants à une concentration plus faible que la limite de détection des instruments analytiques. (Institut national de recherche en éducation [INRE], 2008) De plus, ce n'est pas une stratégie durable à long terme, en raison des coûts économiques et énergétiques élevés. Elle doit être appliquée de concert avec d'autres méthodes de réduction à la source, comme celles présentées ci-haut. (section 5.1) (noPILLS, 2015; PILLS, 2012)

## **6. RECOMMANDATIONS**

Ce chapitre présente les recommandations dans le but de diminuer l'apport en PE dans les effluents des hôpitaux et, par le fait même, dans les eaux de surface. Elles reposent en grande partie sur le principe de réduction à la source, telles que le traitement local des effluents hospitaliers, la séparation des urines, la sensibilisation des parties prenantes et les initiatives gouvernementales.

### **6.1 Traitement local des effluents hospitaliers**

La première recommandation concerne les gestionnaires des hôpitaux. Elle vise à instaurer un système d'assainissement des eaux usées hospitalières directement à la sortie de l'établissement et avant qu'elles rejoignent les réseaux d'égouts. Deux arguments justifient cette approche, d'un côté, l'efficacité de traitement des eaux est meilleure lorsque les polluants ciblés ne sont pas dilués parmi d'autres molécules organiques. D'un autre côté, le mélange des effluents hospitaliers avec les eaux usées urbaines et pluviales favorise la multiplication des microorganismes résistants aux antibiotiques. Par ailleurs, en cas de surverses, qui évacuent sans traitement les réseaux d'égouts dans l'environnement, ces bactéries et les autres polluants se propagent en plus grande quantité dans les milieux naturels. (sections 3.1 et 4.3.1)

### **6.2 Traitement multibarrière**

La deuxième recommandation touche les gestionnaires des hôpitaux et les responsables des stations de traitements des eaux usées municipales. Elle suggère de traiter les effluents à l'aide de plusieurs technologies. Cet aménagement multibarrière peut être appliqué directement à la sortie d'un hôpital ou dans un établissement d'épuration municipale. Deux raisons justifient ce type d'installation, d'abord, la mise en place de techniques exploitant des propriétés physicochimiques distinctes assure une dépollution des eaux plus complète. De plus, dans le cas d'un bris ou un trop-plein de l'un ou l'autre des traitements, les autres technologies peuvent compenser, ce qui garantit une certaine efficacité d'assainissement. (section 5.6)

### **6.3 Séparation des urines**

La troisième recommandation s'intéresse aux patients des établissements de soins. Elle doit toutefois être mise en place par les administrateurs des hôpitaux et être promue par les employés du milieu hospitalier. Elle vise à détourner les urines de certains patients des eaux usées. Elle pourrait convoiter plus particulièrement, les patients traités avec les composés cytostatiques, tels que le cyclophosphamide, l'ifosfamide, le méthotrexate et le 5-fluorouracil. Cette stratégie contribue à réduire de manière significative la charge de résidus pharmaceutiques dans les effluents hospitaliers, car une grande proportion des substances actives est rejetée de l'organisme par les excréments. Pour ce faire, deux approches peuvent être

mises en œuvre, soit l'installation de toilettes spécialisées ou la mise en place d'un programme de récupération directe des urines à l'aide de sacs. (sections 3.2.2, 4.3.2 et 5.1)

## **6.4 Sensibilisation des parties prenantes**

La quatrième recommandation s'applique aux employés et aux patients des hôpitaux. Elle consiste à les sensibiliser face à la problématique des résidus pharmaceutiques dans l'environnement.

### **6.4.1 Sensibilisation des employés**

Pour les employés des hôpitaux, la sensibilisation concerne surtout leurs gestes et leurs discours envers les patients. Deux raisons peuvent justifier l'éducation des travailleurs hospitaliers. D'une part, afin d'optimiser la séparation des déchets médicaux en fonction de leur catégorie. D'autre part, dans le but qu'ils soient, à leur tour, en mesure de sensibiliser leurs patients. Pour ce faire, des formations continues, des outils d'aide à la décision et des brochures explicatives adressées aux professionnels de la santé et d'autres à la patientèle peuvent être mis à leur disposition. Par ailleurs, cette sensibilisation doit être faite de manière ininterrompue afin qu'ils se sentent interpellés par la problématique. (sections 3.2 et 5.1)

### **6.4.2 Sensibilisation des patients**

Pour les patients, leurs comportements sont la pierre angulaire des méthodes de réduction à la source proposée. La sensibilisation à ce type d'acteurs est nécessaire afin de limiter la concentration des PPSP qui rejoignent les eaux usées. D'abord, elle vise à les informer de la manière de disposer les PPSP utilisés en hôpitaux. En plus, elle permet d'assurer le bon fonctionnement des techniques de séparation des urines mises en œuvre. La sensibilisation peut être effectuée par le biais d'affiches dans les salles d'attente, de pamphlets explicatifs et de clarifications par les professionnels de la santé. (sections 1.2 et 5.1)

## **6.5 Initiatives gouvernementales**

Les deux dernières recommandations proposées afin de diminuer la quantité de PPSP provenant des rejets hospitaliers s'adressent aux organisations gouvernementales. Elles peuvent se faire par le contrôle plus restrictif des nouvelles molécules et la promotion d'un mode de vie sain.

### **6.5.1 Évaluation environnementale**

Cette recommandation s'adresse au gouvernement canadien. Elle suggère d'ajouter une étape d'évaluation environnementale à la procédure de mise en marché d'un médicament (figure 1.4). Cette démarche devrait inclure une estimation du comportement de la molécule dans les eaux usées et les eaux de surface. Dans la



mesure où la substance résiste aux traitements d'épuration, ces impacts immédiats et à long terme dans les plans d'eau doivent être étudiés. Cette recommandation permet ainsi de restreindre l'avenue de nouvelles molécules pouvant avoir des effets sur la santé des écosystèmes et même, des êtres humains. (section 1.4.2)

#### **6.5.2 Promotion d'un mode de vie sain**

Cette recommandation concerne les gouvernements fédéraux et provinciaux. Elle tend à promouvoir un mode de vie sain. Elle peut prendre différentes formes, comme des subventions pour l'inscription à des activités sportives, des campagnes publicitaires de sensibilisation, des taxes sur les aliments trop salés ou sucrés en vente dans les supermarchés, etc. La promotion d'un mode de vie sain est justifiée par le fait qu'une population en bonne santé réduira sa consommation de médicaments et ses séjours dans les hôpitaux. Par conséquent, une diminution de résidus pharmaceutiques pourra être mesurée dans les effluents. (section 1.2).

## CONCLUSION

L'objectif général de cet essai était de proposer des actions afin de limiter la concentration de PE dans les cours d'eau provenant des établissements de soins du Québec.

Pour ce faire, le contexte entourant les PE est détaillé par la présentation de leurs définitions, de leurs origines, de leurs effets sur la faune, la flore et même les humains ainsi que par le portrait de l'encadrement réglementaire aux différents niveaux. Cette section soulève la difficulté pour les composés à recevoir le titre de PE.

Bien que peu de substances consommées en hôpitaux soient considérées comme des PE, ils sont mis de l'avant dans le cadre de cet essai. Cet intérêt est justifié par leurs effets spécialisés ainsi que par l'importante fraction intacte excrétée de l'organisme. Les médicaments et les autres produits pharmaceutiques rejoignent les eaux usées, puis les eaux de surface malgré leur passage à travers le réseau d'assainissement. En effet, les stations d'épuration n'ont pas été conçues pour éliminer des molécules chimiques complexes. Elles servent surtout à réduire la concentration de phosphore, d'azote, de matières organiques, d'huiles et de graisses. Une fois dans le milieu récepteur, elles peuvent s'accumuler dans les sédiments et les graisses des organismes ou bien se propager avec le courant. Elles peuvent également être dégradées en composés plus toxiques qui auront des effets néfastes sur les organismes aquatiques. Leurs impacts sur les espèces au bas de la chaîne alimentaire supposent des effets sur la santé humaine à long terme.

Le Québec n'échappe pas à cette pollution comme le révèle le portrait des eaux de surface. Effectivement, plus d'une vingtaine de PPSP ont été détectés dans le fleuve Saint-Laurent, tel que des analgésiques, des anti-inflammatoires, des antibiotiques, des détergents, des hormones, des médicaments pour le cholestérol et autres résidus pharmaceutiques.

Ces substances peuvent être comparées aux composés pharmaceutiques retrouvés dans les eaux usées des hôpitaux. Ces dernières sont relevées grâce à plusieurs suppositions et déductions, dû au peu d'informations à ce sujet. Pour ce faire, les quelques données sur les effluents québécois sont traitées. Par ailleurs, les PPSP présents dans les rejets hospitaliers de différents pays sont mis en évidence. Puis, les statistiques des médicaments les plus utilisés au Canada et des médicaments associés aux principales maladies chroniques affectant la population québécoise sont considérées.

Cette comparaison a permis d'établir une liste exhaustive des produits pharmaceutiques présents dans les eaux usées des hôpitaux du Québec. Cette énumération comprend des analgésiques, des antibiotiques, des anticonvulsants, des tranquillisants, des bêtabloquants, des antidépresseurs, des cytostatiques, des détergents, des drogues psychiatriques, des hormones, des médicaments pour le cholestérol, des métaux

lourds, des produits de contraste et autres produits pharmaceutiques. Parmi ceux-ci, les hormones E2 et EE2, le mercure, le triclosan, le NP et les composés cytostatiques, tout comme le cyclophosphamide, le méthotrexate, l'ifosfamide et le 5-fluorouracil sont reconnus comme des PE. Ils ont pu être identifiés à l'aide de six listes d'identification des composés dangereux, tels que la liste des antinéoplasiques et autres médicaments dangereux présents dans les établissements de soin de santé rédigé par le NIOSH, la liste des PE établie par la BEUC et le ICRT, la liste des 32 substances distinguées comme PE par le Chemsec ainsi que les trois listes de substances dangereuses et prioritaires présentées par la Commission européenne.

En plus des PE soulevés, les antibiotiques ainsi que les hormones E1 et E3 sont étudiés, car ils contribuent, respectivement à la toxicité et à l'activité estrogénique des eaux hospitalières. Ainsi, leurs propriétés physicochimiques, leur utilité et leur comportement dans les eaux usées et dans les eaux de surface sont détaillés. Puis, leur retrait des eaux en fonction de six différents traitements avancés est étudié. Parmi les technologies explorées, trois d'entre elles obtiennent des taux d'efficacité d'élimination élevés, soit les traitements à l' $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ , le charbon activé et le photo-Fenton à 85,0 %, 84,2 %, 83,3 %, respectivement. Ces traitements pourraient être mis en place pour traiter les eaux usées des hôpitaux de la province. Toutefois, afin d'atteindre des rendements supérieurs et assurer une élimination plus complète des PE, un traitement multibarrière est suggéré.

Cependant, cette méthode est onéreuse, ce qui incite à se tourner vers d'autres solutions basées sur la réduction à la source. Par exemple, traiter localement les eaux usées des hôpitaux, instaurer un programme de séparation des urines et sensibiliser les parties prenantes. D'autres mesures peuvent être entreprises par les gouvernements comme l'établissement d'une évaluation environnementale dans le processus de mise en marché d'un médicament et la promotion d'un mode de vie sain.

En somme, cet ouvrage propose des mesures de réduction des produits pharmaceutiques préoccupants retrouvés dans les rejets hospitaliers. Leur retrait des eaux par les technologies sophistiquées peut engendrer la pollution d'autres médias, comme les boues. Il est pertinent de se pencher sur des méthodes d'élimination des substances toxiques dans les boues avant qu'elles ne soient utilisées pour l'épandage. En effet, sans traitement préalable, l'épandage de ces boues pourrait entraîner le ruissèlement des polluants retirés des eaux usées vers les cours d'eau.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

- Adolfsson-Erici, M., Pettersson, M., Parkkonen, J. et Sturve, J. (2002). Triclosan, a commonly used bactericide found in human milk and in the aquatic environment in Sweden. *Chemosphere*, 46(9-10), 1485-1489. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653501002557?via%3Dihub>
- Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (2015). *Caractérisation des dangers et des expositions du 4-tert-octylphénol*. Repéré à <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009SA0331-107.pdf>
- Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (2017). Les perturbateurs endocriniens. Repéré à <https://www.anses.fr/fr/content/les-perturbateurs-endocriniens>
- Al Aukidy, M., Verlicchi, P. et Voulvoulis, N. (2014). A framework for the assessment of the environmental risk posed by pharmaceuticals originating from hospital effluents. *Science of the total environment*, 493, 54-64. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969714008201?via%3Dihub>
- Alcock, R. E., Sweetman, A. et Jones, K. C. (1999). Assesment of organic contaminant fate in waste water treatment plants. *Chemosphere*, 38(10), 2247-2262. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653598004445?via%3Dihub>
- Anastakis, D. (2006). Industrialisation au Canada. Repéré à <http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/industrialisation/>
- Andersen H. R., Wollenberger L., Halling-Sorensen B. et Kusk, K. E. (2001). Development of copepod nauplii to copepodites. A parameter for chronic toxicity including endocrine disruption. *Environmental toxicology and chemistry*. 20 (12), 2821-2829. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11764166>
- Aravindakshan, J., Paquet, V., Gregory, M, Dufresne, J., Fournier, M., Marcogliese, D. J. et Cyr, D. G. (2004). Consequences of xenoestrogen exposure on male reproductive function in spottail shiners (*Notropis hudsonius*). *Toxicologie science*, 78(1), 156-165. Repéré à <https://academic.oup.com/toxsci/article/78/1/156/1625636>
- Association des obstétriciens et gynécologues du Québec (AOGQ). (2017). Endométriose. Repéré à <http://www.gynecoquebec.com/sante-femme/endometrioise/19-endometrioise.html>
- Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur affaires sociales (ASSTSAS). (2007). Guide de prévention – Manipulation sécuritaire des médicaments dangereux. Repéré à [https://asstsas.qc.ca/sites/default/files/publications/documents/Guides\\_Broch\\_Depl/GP65\\_medicaments\\_dangereux.pdf](https://asstsas.qc.ca/sites/default/files/publications/documents/Guides_Broch_Depl/GP65_medicaments_dangereux.pdf)
- Association pulmonaire du Canada. (2014). MPOC. Repéré à <https://www.poumon.ca/sant%C3%A9-pulmonaire/maladies-pulmonaires/mpoc/m%C3%A9dicaments>
- Auriol, M., Filali-Meknassi, Y., Tyagi, E.D., Adams, C.D. et Surampalli, R. (2006). Endocrine disrupting compounds removal from wastewater, a new challenge. *Process biochemistry*, 41(3), 525-539. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S1359511305004162>

- Barel-Cohen, K., Shore, L.S., Shemesh, M., Wendel, A., Mueller, J. et Kronfeld-Schor, N. (2006). Monitoring of natural and synthetic hormones in a polluted river. *Journal of environmental management*, 78(1), 16-23. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0301479705001507?via%3Dihub>
- Bertelsen, R.J., Longnecker, M.P., Lovik, M., Calafat, A.M., Carlsen, K.H., London, S.J. et Carsen, K.C.L. (2013). Triclosan exposure and allergic sensitization in norwegian children. *Allergy*, 68(1), 84-91. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3515701/>
- Blaha, L., Babica, P. et Marsalek, B. (2009). Toxins produced in cyanobacterial water blooms – toxicity and risks. *Interdisc. Toxicology*, 2(2), 36-41. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2984099/>
- Blaise, C., Gagné, F., Salazar, M. Salazar, S. Trottier, S. et Hansen, P. D. (2003). Experimentally induced feminisation of freshwater mussels after long-term exposure to a municipal effluent. *Fresenius environmental bulletin*. 12(8), 865-870. Repéré à [https://www.researchgate.net/profile/Francois\\_Gagne/publication/282999563\\_Experimentally-induced\\_feminisation\\_of\\_freshwater\\_mussels\\_after\\_long-term\\_exposure\\_to\\_a\\_municipal\\_effluent/links/570d1bcb08aed31341cf50c6.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francois_Gagne/publication/282999563_Experimentally-induced_feminisation_of_freshwater_mussels_after_long-term_exposure_to_a_municipal_effluent/links/570d1bcb08aed31341cf50c6.pdf)
- Besse, J. P. (2010). *Impact environnemental des médicaments à usage humain sur le milieu récepteur : évaluation de l'exposition et des effets biologiques pour les écosystèmes d'eau douce*. (Thèse de doctorat). Université de Metz, Metz, France. Repéré à <http://docnum.univ-lorraine.fr/public/UPV-M/Theses/2010/Besse.Jean.Philippe.SMZ1023.pdf>
- Buerge, I.J., Buser, H.R., Poiger, T. et Muller, M.D. (2006). Occurrence and fate of cytostatic drugs cyclophosphamide and ifosfamide in wastewater and surface waters. *Environnement science and technologie*, 40(23), 7242-7250. Repéré à <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0609405>
- Bureau d'études industrielles énergies renouvelables et environnement (BEI ERE). (2012). Règlementation concernant les effluents. Repéré à <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g01/reglementation-effluents>
- Bureau du vérificateur général du Canada (BVG). (2011). Incidences sur la santé humaine et l'environnement des substances chimiques perturbatrices du système endocrinien présentes dans les produits cosmétiques. Repéré à [http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/pet\\_310\\_f\\_35780.html](http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/pet_310_f_35780.html)
- Busetti, F., Ruff, M. et Linge, K. L. (s.d.). Target screening of chemicals of concern in recycled water. Repéré à [https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/33445/234727\\_234727.pdf?sequence=2](https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/33445/234727_234727.pdf?sequence=2)
- Catalogue et index des sites médicaux de langue française. (CISMeF) (2017). Repéré à <http://www.cismef.org/>
- Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST). (2017). Fiches d'information réponses SST. Repéré à <http://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>
- Chaussinand, L. (2015). *Les perturbateurs endocriniens*. (Monographie, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec). Repéré à <http://www.uqac.ca/cosmetologie/wp-content/uploads/2016/04/Laetitia-chaussinand-Les-perturbateurs-endocriniens-.pdf>

- Chen, X., Richard, J., Liu, Y., Dopp, E., Tuerk, J. et Bester, K. (2012). Ozonation products of triclosan in advanced wastewater treatment. *Water research*, 46(7), 2247-2256. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0043135412000711?via%3Dihub>
- Chèvre, N. et Erkman, S. (2011). *Alerte aux micropolluants*. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Choubert, J. M., Pomies, M., Miège, C., Martin-Ruel, S., Budzinski, H., Wisniewski, C. et Coquery, M. (2012). Élimination des micropolluants par les stations d'épuration domestiques. *Sciences Eaux and Territoires : La revue du IRSTEA*, 6-15. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00772200/document>
- Cokay, E. et Oztamer, M. (2017). Degradation of triclosan by photo-Fenton like oxidation. *Journal of science and engineering*, 19(56), 583-598. Repéré à <http://web.deu.edu.tr/fmd/s56/S56-m22.pdf>
- Collette-Bregnaud, M., James, A., Munshy, C. et Bocquené, G. (2009). *Contamination des milieux aquatiques par les substances pharmaceutiques et cosmétiques*. Repéré à <http://archimer.ifremer.fr/doc/00066/17773/15295.pdf>
- Commission des Affaires européennes. (2014). Rapport d'information sur la stratégie européenne en matière de perturbateurs endocriniens. Repéré à [http://www.assemblee-nationale.fr/14/europe/rap-info/i1828.asp#P973\\_179920](http://www.assemblee-nationale.fr/14/europe/rap-info/i1828.asp#P973_179920)
- Commission des communautés européennes. (1984a). Fiche terminologique "Demande biochimique d'oxygène". Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8884518](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8884518)
- Commission des communautés européennes. (1984b). Fiche terminologique "Demande chimique en oxygène". Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8424964](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8424964)
- Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). (2016). Guide d'utilisation d'une fiche signalétique : Caractéristiques physiques. Repéré à <http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/simdut-1988/guide-utilisation-fiche-signalétique/Pages/07-caracteristiques-physiques.aspx#Chap11>
- Commission européenne. (s.d.a). *Annex 15 : Towards the establishment of a priority list of substances related to endocrine disruption*. Repéré à [http://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh\\_annex\\_15.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh_annex_15.pdf)
- Commission européenne. (s.d.b). *Annex 10 : Towards the establishment of a priority list of substances related to endocrine disruption*. Repéré à [http://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh\\_annex\\_10.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh_annex_10.pdf)
- Commission européenne. (2016). Priority Substances and Certain Other Pollutants according to Annex II of Directive 2008/105/EC. Repéré à [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority\\_substances.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority_substances.htm)
- Commission européenne. (2017, 4 juillet). Perturbateurs endocriniens – Foire aux questions. Repéré à [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-17-1907\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-17-1907_fr.htm)
- Conseil international de la langue française. (1978). Fiche terminologique "Hormonodépendant". Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=17061990](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=17061990)

- Coutu, S., Rossi, L., Barry, D. A., Rudaz, S. et Vernaz, N. (2013). Temporal variability of antibiotics fluxes in wastewater and contribution from hospital. *Plos One*, 8(1). Repéré à <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0053592>
- Cui, K., Yi, H., Zhou, Z.J., Zhuo, Q.F., Guo, Q.W. et Bing, Y.X. (2014). Fenton oxidation kinetics and intermediates of nonylphenol ethoxylates. *Environmental engineering science*, 31(5), 217-224. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4027986/>
- De Champlain, M. (2011). Effets des hormones sexuelles non traitées dans les effluents municipaux. (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2011/de\\_Champlain\\_M\\_\\_01-06-2011\\_.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2011/de_Champlain_M__01-06-2011_.pdf)
- De Champlain, M., Drogui, P. et Van Coillie, R. (2013). Les effluents municipaux : Une source importante de rejet d'hormones dans le milieu aquatique. *Université de Sherbrooke, section Environnement*. Repéré à : [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Ouvrages\\_de\\_reference/Art\\_Technique\\_Effluents\\_municipaux-Mars\\_2013.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Ouvrages_de_reference/Art_Technique_Effluents_municipaux-Mars_2013.pdf)
- Demonstration of promising technologies to address emerging pollutants in water and waste water. (DEMEAU) (2012). *Démonstration de technologies prometteuses pour le traitement de polluants émergents dans l'eau et les eaux usées*. Repéré à [http://demeau-fp7.eu/system/files/results/Leaflet\\_DEMEAU\\_fra\\_web\\_0.pdf](http://demeau-fp7.eu/system/files/results/Leaflet_DEMEAU_fra_web_0.pdf)
- Département cancer et environnement. (2017). Perturbateurs endocriniens et risques de cancer. Repéré à <http://www.cancer-environnement.fr/274-Perturbateurs-endocriniens.ce.aspx>
- Dictionnaire environnement. (2010). Déchet biomédical la définition du dico. Repéré à [http://www.dictionnaire-environnement.com/dechet\\_biomedical\\_ID5195.html](http://www.dictionnaire-environnement.com/dechet_biomedical_ID5195.html)
- Dictionnaire Larousse. (s.d.). In silico. Repéré à [http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/in\\_silico/10910915](http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/in_silico/10910915)
- Dutch National Institute for Public Health and the Environment. (RIVM) (s.d.). Pharmaceutical product chain. Repéré à [http://www.rivm.nl/media/pharmaceutical/index\\_en.htm](http://www.rivm.nl/media/pharmaceutical/index_en.htm)
- Eau France. (2016). Paramètres : Phéopigment. Repéré à <http://id.eaufrance.fr/par/1436>
- Ellis, J.B. (2006). Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters. *Environ. Pollution*, 144(1), 184-189. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S026974910600011X>
- Elmolla, E. et Chaudhuri, M. (2009). Degradation of the antibiotics amoxicillin, ampicillin and cloxacillin in aqueous solution by the photo-Fenton process. *Journal of hazardous materials*, 172, 1476-1481. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0304389409012953>
- Environnement Canada (EC) et Santé Canada. (2001). *Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation : le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés*. Repéré à [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/nonylphenol/nonylphenol-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl2-lsp2/nonylphenol/nonylphenol-fra.pdf)

- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2009). Un cocktail de médicaments dans le Saint-Laurent loin de soulager les organismes aquatiques. Repéré à <http://ec.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=27B606BD-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2013a). Des herbicides à usage domestique détectés dans l'eau. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eaoudouce-freshwater/default.asp?lang=fr&n=5B247A40-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2013b). Des pesticides voyagent jusqu'au fleuve Saint-Laurent par ses tributaires. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=45B1191F-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2013c). Guide pour le cadre d'estimation du risque – articles 199-200 de la LCPE 1999 : Décisions relatives aux plans d'urgence environnementale. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=Fr&n=F1BDDFD0-1&offset=3>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2015). Évaluation préalable. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/ese-ees/default.asp?lang=Fr&n=899CF15C-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2016). *Évaluation scientifique sur le mercure au Canada. Résumé des principaux résultats*. Repéré à [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2016/eccc/En84-130-2-2016-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En84-130-2-2016-fra.pdf)
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017a). Gestion des eaux usées. Repéré à <http://www.ec.gc.ca/eu-ww/default.asp?lang=Fr&n=0fb32efd-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017b). La liste des substances toxiques gérées sous la LCPE 1999 (l'annexe 1). Repéré à <https://www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/default.asp?lang=Fr&n=98E80CC6-1>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017c). Règlement sur certaines substances toxiques interdites (2012). (DORS/2012-285). Repéré à <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/fra/reglements/detailreg.cfm?intReg=207>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2017d). Aperçu du suivi et de la surveillance de la qualité des eaux douces. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eaoudouce-freshwater/default.asp?lang=Fr&n=50947E1B-1>
- Epold, I., Dulova, N., Veressinina, Y. et Trapido, M. (2012). Application of ozonation, UV photolysis, Fenton treatment and other related processes for degradation of ibuprofen and sulfamethoxazole in different aqueous matrices. *Journal of advanced oxidation technologies*, 15(2). Repéré à <https://www.degruyter.com/view/j/jaots.2012.15.issue-2/jaots-2012-0215/jaots-2012-0215.xml>
- European Consumer Organisation (BEUC) et International Consumer Research and Testing. (ICRT) (2013). *Endocrine disrupting chemicals – analysis of 66 everyday cosmetic and personal care products*. Repéré à <http://www.beuc.eu/publications/2013-00461-01-e.pdf>
- Fonds national pour le développement des adductions d'eau (FNDAE). (2002). *Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau*. Repéré à <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO) (2014). *The state of world fisheries and aquaculture*. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>



- Foster, A. L. (2007). *Occurrence and fate of endocrine disruptors through the San Marcos wastewater treatment plant*. (Thèse de maîtrise, University San Marcos, Texas, États-Unis). Repéré à <https://digital.library.txstate.edu/bitstream/handle/10877/3880/fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garcia-Ac, A., Segura, P. A., Viglino, L., Gagnon, C. et Sauvé, S. (2011). Comparison of APPI, APCI and ESI for the LC-MS/MS analysis of bezafibrate, cyclophosphamide, enalapril, methotrexate and orlistat in municipal wastewater. *Journal of mass spectrometry*, 46, 383-390. Repéré à <https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/sauves/MonDepotPublic/Laboratoire/MS%20papers/JMS%20Garcia%202011%20-%20Ionization.pdf>
- Gauthier, K., Berryman, D., Dubreuil, G., Sarrasin, B., Deblois, C., et Van Coillie, R. (2013). *Le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés – Une réussite dans leur élimination du milieu récepteur*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/nonylphenol/article-nonylphenol-derives-ethoxyles201301.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/nonylphenol/article-nonylphenol-derives-ethoxyles201301.pdf)
- Giannakis, S., Vives, F. A. G., Grandjean, D., Magnet, A., De Alencastro, L. F. et Pulgarin, C. (2015). Effect of advanced oxidation processes on the micropollutants and the effluent organic matter contained in municipal wastewater previously treated by three different secondary methods. *Water research*, 84, 295-306. Repéré à [http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043-1354\(15\)30132-9](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043-1354(15)30132-9)
- Ghisari, M. et Bonefeld-Jorgensen, E. C. (2009). Effects of plasticizers and their mixtures on estrogen receptor and thyroid hormone functions. *Toxicology letters*, 189(1), 67-77. Repéré à <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0378427409002537?via%3Dihub>
- Gomez, M. J., Martinez Bueno, M. J., Lacorte, S., Fernandez-Alba, A. R. et Agüera, A. (2006). Pilot survey monitoring pharmaceuticals and related compounds in a sewage treatment plant located on the Mediterranean coast. *Chemosphere*, 66, 993-1002. Repéré à [https://ac.els-cdn.com/S0045653506009908/1-s2.0-S0045653506009908-main.pdf?\\_tid=e4fc1918-be4f-11e7-aee0-00000aacb360&acdnat=1509463781\\_6e1f2cf3873ec19393bd8482895c90a8](https://ac.els-cdn.com/S0045653506009908/1-s2.0-S0045653506009908-main.pdf?_tid=e4fc1918-be4f-11e7-aee0-00000aacb360&acdnat=1509463781_6e1f2cf3873ec19393bd8482895c90a8)
- Gouvernement du Canada (GC). (2011). *Rapport de 2011 sur l'utilisation de l'eau par les municipalités – Utilisation de l'eau par les municipalités, statistiques de 2009*. Repéré à [https://ec.gc.ca/Publications/B77CE4D0-80D4-4FEB-AFFA-0201BE6FB37B/2011-Municipal-Water-Use-Report-2009-Stats\\_Fr.pdf](https://ec.gc.ca/Publications/B77CE4D0-80D4-4FEB-AFFA-0201BE6FB37B/2011-Municipal-Water-Use-Report-2009-Stats_Fr.pdf)
- Gouvernement du Canada (GC). (2016). Plan de gestion des produits chimiques. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/plan-gestion-produits-chimiques.html>
- Gros, M., Petrovic, M. et Barceló, D. (2006). Development of a multi-residue analytical methodology based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) for screening and trace level determination of pharmaceuticals in surface and wastewaters. *Talanta*, 70(4), 678-690. Repéré à <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0039914006003559>
- Groupe de travail interministériel fédéral, provincial, territorial. (2006). *Stratégie nationale relative aux produits pharmaceutiques : Rapport d'étape*. Repéré à [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/hcs-sss/alt\\_formats/hpb-dgps/pdf/pubs/2006-nps-snpp/2006-nps-snpp-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/hcs-sss/alt_formats/hpb-dgps/pdf/pubs/2006-nps-snpp/2006-nps-snpp-fra.pdf)

- Guerra, P., Kim, M., Shah, A., Alaei, M. et Smyth, S. A. (2014). Occurrence and fate of antibiotic, analgesic/anti-inflammatory, and antifungal compounds in five wastewater treatment processes. *Science of the total environment*, 473-474, 235-243. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969713014629>
- Halling-Sorensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P.F., Ingerslev, F., Holten Lutzhoft, H.C. et Jorgensen, S.E. (1998). Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment – a review. *Chemosphere*, 36(2), 357-393. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653597003548?via%3Dihub>
- Hansel, S., Castegnaro, M., Sportouch, M.H., De Méo, M., Milhavet, J.C., Laget, M. et Duménil, G. (1997). Chemical degradation of wastes of antineoplastic agents : cyclophosphamide, ifosfamide and melphalan. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 69(2), 109-114. Repéré à <https://link.springer.com/article/10.1007/s004200050124>
- Heidler, J. et Halden, R. U. (2007). Mass balance assessment of triclosan removal during conventional sewage treatment. *Chemosphere*, 66(2), 362-369. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S004565350600542X?via%3Dihub>
- Horel, S. (réalisateur). (2010). *La grande invasion* [Documentaire]. Paris, France : Mosaïque films.
- Institut de la statistique du Québec. (2009). *Zoom santé - Maladies chroniques au Québec et au Canada : Évolution récente et comparaisons régionales*. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/sante/bulletins/zoom-sante-200901.pdf>
- Institut et hôpital neurologiques de Montréal. (2009). *Guide du patient sur les traitements à la cyclophosphamide*. Repéré à [http://infoneuro.mcgill.ca/images/stories/Documents/20090429\\_cyclo\\_fre.pdf](http://infoneuro.mcgill.ca/images/stories/Documents/20090429_cyclo_fre.pdf)
- Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). (2010). Mercure et ses dérivés. Repéré à [https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjF8NPJp8vYAhVM5IMKHdt8DKQQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fsubstance.s.ineris.fr%2Ffr%2Fsubstance%2FgetDocument%2F2804&usg=AOvVaw1HE\\_JEk-6KJ3149fDHf4Mt](https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjF8NPJp8vYAhVM5IMKHdt8DKQQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fsubstance.s.ineris.fr%2Ffr%2Fsubstance%2FgetDocument%2F2804&usg=AOvVaw1HE_JEk-6KJ3149fDHf4Mt)
- Institut national de recherche en éducation (INRE). (2008). *Produits pharmaceutiques et de soins personnels dans l'environnement au Canada : Directions de la recherche et des politiques*. Repéré à [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2008/ec/En13-2-8-2007F.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/ec/En13-2-8-2007F.pdf)
- International Chemical Secretariat. (ChemSec) (2015). *The 32 to leave behind: The most well-founded list of EDCs relevant for REACH*. Repéré à <http://chemsec.org/wp-content/uploads/2015/10/The-32-to-leave-behind-EDC-folder.pdf>
- Jobling, S., Casey, D., Rodgers-Gray, T., Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Pawlowski, S., Baunbeck, T., Turner, A. P. et Tyler, C. R. (2004). Comparative responses of molluscs and fish to environmental estrogens and an estrogenic effluent. *Aquatic Toxicology*. 65(2), 207-222. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0166445X04000037>

- Jung, E. M., An, B. S., Choi, K. C. et Jeung, E. B. (2012). Potential estrogenic activity of triclosan in the uterus of immature rats and rat pituitary GH3 cells. *Toxicology*, 208(2). 142-148. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S037842741101592X?via%3Dihub>
- Kovalova, L., Hansruedi, S., Von Gunten, U., Eugster, J., Hagenbuch, M., Wittmer, A., Mose, R. et McArdell, C.S. (2013). Elimination of micropollutants during post-treatment of hospital wastewater with powdered activated carbon, ozone and UV. *Environment science and technologies*, 47(14), 7899-7908. Repéré à <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es400708w?src=recsys>
- Kuster, M., Lopez de Alda, M. J. et Barcelo, D. (2004). Analysis and distribution of estrogens and progestogens in sewage sludge, soils and sediments. *Trends in analytical chemistry*, 23(10-11), 790-798. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0165993604030390>
- Lai, W. W. P., Lin, H. H. H., et Lin, A. Y. C. (2015). TiO<sub>2</sub> photocatalytic degradation and transformation of oxazaphosphorine drugs in an aqueous environment. *Journal of hazardous materials*, 287, 133-141. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0304389415000564?via%3Dihub>
- Lee, D. G. (2015). Removal of a synthetic broad-spectrum antimicrobial agent, triclosan, in wastewater treatment systems : A short review. *Environmental engineering research*, 20(2), 1226-1025. Repéré à <http://eeer.org/upload/eeer-1428045882.pdf>
- Leiker, T., Abney, S. R., Goodbred, S. L., Rosen, M. R. (2009). Identification of methyl triclosan and halogenated analogues in male common carp (*Cyprinus carpio*) from Las Vegas bay and semipermeable membrane devices from Las Vegas wash, Nevada. *Science of the total environment*, 407(6), 2102-2114. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969708011327?via%3Dihub>
- Librairie Flammarion et cie. (1982). Fiche terminologique “Vitellogenèse”. Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8435932](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8435932)
- Loi canadienne de la protection de l'environnement* (1999), L.C. 1999, c. 33.
- Loi sur la qualité de l'environnement*, RLRQ., c. Q -2.
- Loi sur la sûreté nucléaire et la réglementation nucléaire*, L.C. 1997, c. 9.
- Loi sur les aliments et les drogues*, L.R.C. 1985, c. F-27.
- Loi sur les pesticides*, RLRQ, c. P -9.3.
- Lozano, N., Rice, C. P., Ramirez, M. et Torrents, A. (2013). Fate of triclocarban, triclosan and methyltriclosan during wastewater and biosolids treatment processes. *Water research*, 47(13), 4519-4527. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0043135413004235?via%3Dihub>
- Lutterbeck, C. A., Baginska, E., Machado E. L. et Kümmerer, K. (2015a). Removal of the anti-cancer drug methotrexate from water by advanced oxidation processes : Aerobic biodegradation and toxicity studies after treatment. *Chemosphere*, 141, 290-296. Repéré à <file:///F:/Essai/Lutterbeck,%202015.html>

- Lutterbeck, C. A., Wilde, M. L., Baginska, E., Leder, C., Machado E. L. et Kümmerer, K. (2015b). Degradation of 5-FU by means of advanced (photo)oxidation processes: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub> – Comparison of transformation products, ready biodegradability and toxicity. *Science of the environment*, 527-528, 232-245. Repéré à <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969715300474?via%3Dihub>
- Lutterbeck, C. A. (2015c). Environmental fate of selected anticancer drugs: Photodegradation, biodegradation and toxicity of cyclophosphamide, 5-fluorouracil, methotrexate and imatinib. (Thèse de doctorat, Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg, Allemagne), Repéré à [http://opus.uni-lueneburg.de/opus/volltexte/2015/14377/pdf/Thesis\\_Final\\_Version.pdf](http://opus.uni-lueneburg.de/opus/volltexte/2015/14377/pdf/Thesis_Final_Version.pdf)
- Lutterbeck, C. A., Machado, E. L. et Kümmerer, K. (2015d). Photodegradation of the antineoplastic cyclophosphamide : A comparative study of the efficiencies of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub> processes. *Chemosphere*, 120, 538-546. Repéré à [http://opus.uni-lueneburg.de/opus/volltexte/2015/14377/pdf/Thesis\\_Final\\_Version.pdf](http://opus.uni-lueneburg.de/opus/volltexte/2015/14377/pdf/Thesis_Final_Version.pdf)
- Maduka, I. C., Ezeonu, F. E., Neboh, E. E., Elvis, N. S. et Ikekpeazu, E. J. (2012). Urinary estrogen levels in women on contraceptives in Enugu, South-East Nigeria. *Journal of family medicine and primary care*, 1,(1), 39-42. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3893952/>
- Magdeburg, A., Stalter, D., Schlüsener, M., Ternes, T. et Oehlmann, J. (2014). Evaluating the efficiency of advanced wastewater treatment: Target analysis of organic contaminants and (geno-)toxicity assessment tell a different story. *Water Research*, 50, 35-47. Repéré à <file:///F:/Essai/Magdeburg%20et%20al.,%202014.html>
- Margot, J. et Magnet, A. (2011). Élimination des micropolluants dans les eaux usées. *Eaux usées, Abwasser*, 7, 487-493. Repéré à [https://infoscience.epfl.ch/record/167651/files/gwa\\_7\\_2011\\_Margot.pdf](https://infoscience.epfl.ch/record/167651/files/gwa_7_2011_Margot.pdf)
- Marieb, E. N. et Hoehn, K. (2015). *Anatomie et physiologie humaines* (9<sup>e</sup> éd.). Repéré à [https://books.google.ca/books?id=5qagBQAAQBAJ&pg=PA696&dq=syst%C3%A8me+endocrinien+organes&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKewju\\_eudu7HWAhUp04MKHZzvBlkQ6AEIKzAB#v=onepage&q=syst%C3%A8me%20endocrinien%20organes&f=false](https://books.google.ca/books?id=5qagBQAAQBAJ&pg=PA696&dq=syst%C3%A8me+endocrinien+organes&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKewju_eudu7HWAhUp04MKHZzvBlkQ6AEIKzAB#v=onepage&q=syst%C3%A8me%20endocrinien%20organes&f=false)
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Agriculture (MAPAQ), Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). (2012). *Indicateur de risque des pesticides du Québec. 2<sup>e</sup> édition*. Repéré à [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1504\\_IndicRisquesPesticides\\_2eEdition.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1504_IndicRisquesPesticides_2eEdition.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2012). *Les composés perfluorés dans les cours d'eau et l'eau potable du Québec méridional*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/toxique/composes-perfluores/rapport-cours-eau-potable.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/composes-perfluores/rapport-cours-eau-potable.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). (2013). *Critères de qualité de l'eau de surface*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/criteres.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (s.d.). *Les réseaux d'aqueduc privés*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/aqueduc-prive/onepager.pdf>

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2015a). *Modèle de règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égout des municipalités au Québec*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/consultation/documents/justification.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2015b). *Suivi de l'état du Saint-Laurent – La qualité de l'eau des rivières Richelieu et Yamaska*. Repéré à [http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches\\_indicateurs/Fiche\\_qualite\\_eau\\_Yamaska\\_Richelieu\\_FR.pdf](http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Fiche_qualite_eau_Yamaska_Richelieu_FR.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017a). Substances toxiques. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivilac/subst-toxiques.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017b). *Contaminants d'intérêt émergent, substances toxiques et état des communautés de poissons dans des cours d'eau de la Montérégie et de l'Estrie*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/toxique/monteregie-estrie/contaminant-emergent.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/monteregie-estrie/contaminant-emergent.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017c). Le programme de réduction des rejets industriels et l'attestation d'assainissement. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/prri/index.htm#1>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017d). Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/residences\\_isolees/reglement.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/residences_isolees/reglement.htm)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017e). Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/reglement2013.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017f). Les déchets biomédicaux : le règlement en bref. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/biomedicaux/index.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017g). Les matières dangereuses. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/dangereux/index.htm>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017h). Encadrement légal et réglementaire. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/pesticides/cadrelegal.htm#loi>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017i). 25 ans d'assainissement des eaux usées industrielles au Québec : un bilan (suite). Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/industrielles/chapitre1\\_b.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/industrielles/chapitre1_b.htm)

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017j). Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet (OER) pour les contaminants du milieu aquatique. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/oer/>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017k). Suivi de la qualité de l'eau des rivières. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/suivi\\_mil-aqua/qual\\_eau-rivieres.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/qual_eau-rivieres.htm)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017l). *Présence de pesticides dans l'eau de surface au Québec – Zones de vergers et de cultures maraîchères 2013 à 2016*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/pesticides/verges-maraicheres/pesticides-eau-vergers-maraicher.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/pesticides/verges-maraicheres/pesticides-eau-vergers-maraicher.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). (2010). *Diminution des concentrations de plusieurs substances toxiques dans la rivière Yamaska Nord à la suite du Plan d'action Granby*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/yamaska/toxique/granby.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/yamaska/toxique/granby.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). (2011). *Résultats du suivi des produits pharmaceutiques et de soins personnels ainsi que des hormones dans des eaux usées de l'eau de surface et de l'eau potable au Québec – Période 2003 - 2009*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/prod-pharma-eau2003-2009.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (MDDEP) (2012a). *Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/portrait/eaux-surface1999-2008/Portrait\\_Quebec1999-2008.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/portrait/eaux-surface1999-2008/Portrait_Quebec1999-2008.pdf)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). (2012b). *Diminution des concentrations de nonylphénols éthoxylés dans les cours d'eau du Québec méridional de 2000 à 2010*. Repéré à [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/nonylphenol/cours-deau2000-2010.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/nonylphenol/cours-deau2000-2010.pdf)
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer de la France (MEEMF) et Ministère des Affaires sociales et de la Santé de la France (MASSF). (2017). *La stratégie nationale sur les perturbateurs endocriniens*. Repéré à [https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/15216-2\\_PNSE3\\_SNPE\\_DEF\\_Web.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/15216-2_PNSE3_SNPE_DEF_Web.pdf)
- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). (2017). *Guide de gestion des déchets du réseau de la santé et des services sociaux*. Repéré à <http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2016/16-602-01W.pdf>
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). (2017). *Perturbateurs endocriniens*. Repéré à <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/perturbateurs-endocriniens>
- National Center for Biotechnology. (NCBI) (2017). PubChem Compound. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pccompound?term=%22cyclophosphamide%22>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (NIOSH) (2016). *NIOSH list of antineoplastic and other hazardous drugs in healthcare settings, 2016*. Repéré à [https://www.cdc.gov/niosh/topics/antineoplastic/pdf/hazardous-drugs-list\\_2016-161.pdf](https://www.cdc.gov/niosh/topics/antineoplastic/pdf/hazardous-drugs-list_2016-161.pdf)

- National Toxicology Program. (NTP) (2017). Tox21. Repéré à <https://ntp.niehs.nih.gov/results/tox21/index.html>
- Nations Unies. (2017). Journée mondiale de l'eau – 22 mars. Repéré à <http://www.un.org/fr/events/waterday/>
- No Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources. (noPILLS) (2015). *Interreg IV B NEW project partnership 2012-2015 – noPILLS report*. Repéré à [http://www.no-pills.eu/conference/BS\\_NoPills\\_Final%20Report\\_long\\_EN\\_small.pdf](http://www.no-pills.eu/conference/BS_NoPills_Final%20Report_long_EN_small.pdf)
- Novaquatis. (2007). Novaquatis final report : NoMix – A new approach to urban water management. Repéré à [http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/final\\_report\\_E](http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/final_report_E)
- Oaks, J. L., Gilbert, M., Virani, M. Z., Watson, R. T., Meteyer, C. U., Rideout, B. A., Shivaprasad, H. L., Ahmed, S, Chaudhry, M. J. I., Arshad, M., Mahmood, S., Ali, A. et Khan, A. A. (2004). Diclofenac residues as the cause of vulture population decline in Pakistan. *Nature*. 427 (6975), 630-633. Repéré à <https://www.nature.com/articles/nature02317>
- Office québécois de la langue française (OQLF). (1996). Fiche terminologique “Ceyptorchidie”. Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8395762](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8395762)
- Office québécois de la langue française (OQLF). (2005). Fiche terminologique “Hypolipémiant”. Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8375482](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8375482)
- Office québécois de la langue française (OQLF). (2005). Fiche terminologique “Hypospadias”. Repéré à [http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id\\_Fiche=8356161](http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8356161)
- O’Keefe, T. L. (2011). *Cytotoxic Drug Contamination in Hospital and Municipal Wastewater and Its Transfer to Surface Water*. Repéré à <http://docplayer.net/14622101-Cytotoxic-drug-contamination-in-hospital-and-municipal-wastewater-and-its-transfer-to-surface-water.html>
- Olaniyan, L. W. B., Mkwetshana, N. et Okoh, A. I. (2016). Triclosan in water, implications for human and environmental health. *Springer plus*, 5(1639). Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5031584/>
- Olivier, M. (2015). *Chimie de l’environnement*. Longueuil, Québec : Lab Éditions.
- Ooreka. (s.d.). Stérilisation de l’eau par l’ozone. Repéré à <https://traitement-eau.ooreka.fr/comprendre/ozone-eau>
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2016). Lits d’hôpitaux. Repéré à <https://data.oecd.org/fr/healthqt/lits-d-hopitaux.htm>
- Organisation mondiale de la santé (OMS). (2013). Rapport historique sur les effets pour l’homme de l’exposition aux perturbateurs endocriniens chimiques. Repéré à [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/hormone\\_disrupting\\_20130219/fr/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/hormone_disrupting_20130219/fr/)
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et Programme des Nations Unies pour l’environnement. (PNUE). (2012). *State of the Science of Endocrine disrupting chemicals*. Repéré à <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/12223/State%20of%20the%20Science%20of%20EDCs%20Summary%20Report%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ouarda, Y., Tiwari, B., Azaïs, A., Vaudreuil, M. A., Ndiaye, S. D., Drogui, P., Tyagi, R. D., Sauvé, S., Desrosiers, M., Buelna, G. et Dubé, R. (2018). Synthetic hospital wastewater treatment by coupling submerged membrane bioreactor and electrochemical advanced oxidation process: Kinetic study and toxicity assessment. *Chemosphere*, 193, 160-169. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653517317708>
- Pan, X., Chunnuan, D., Zhang, D., Wang, J., Mu, G. et Chen, Y. (2008). Toxic effects of amoxicillin on the photosystem II of *Synechocystis* sp. Characterized by a variety of in vivo chlorophyll fluorescence tests. *Aquatic toxicology*, 89(4), 207-213. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0166445X08002075?via%3Dihub>
- Pereira, R. O., Lopez de Alda, M., Joglar, J., Daniel, L. A. et Barcelo, D. (2011). Identification of new ozonation disinfection byproducts of 17 $\beta$ -estradiol and estrone in water. *Chemosphere*, 84(11), 1535-1541. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S004565351100628X>
- Pham, O. (2015). *La problématique du mercure dans les eaux usées de Montréal*. (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/6820/Pham\\_Olivier\\_MEnv\\_2015.pdf;sequence=1](http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/6820/Pham_Olivier_MEnv_2015.pdf;sequence=1)
- Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources. (PILLS) (2012). *Les résidus pharmaceutiques dans le système aquatique – un défi pour l’avenir : Panorama et activités du projet de coopération européenne PILLS*. Repéré à [http://www.pills-project.eu/PILLS\\_summary\\_francais.pdf](http://www.pills-project.eu/PILLS_summary_francais.pdf)
- Programme des Nations Unies pour l’environnement (PNUE). (s. d.). *Substances nocives et déchets dangereux*. Repéré à <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/12509/retrieve>
- Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens (PNRPE). (2012). *Les perturbateurs endocriniens en 12 projets : Comprendre où en est la recherche*. Repéré à <https://www.anses.fr/fr/system/files/CDLR-mg-PNRPE2012.pdf>
- Rabii, F. W., Segura, P. A., Fayad, P. B. et Sauvé, S. (2014). Determination of six chemotherapeutic agents in municipal wastewaters using online solid-phase extraction coupled to liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Science of the total environment*, 487, 792-800. Repéré à <https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/sauves/MonDepotPublic/Laboratoire/MS%20papers/STOTEN%20Farida%20Chimio%202014.pdf>
- Reeves, H. (2013). *Là où croît le péril... croît aussi ce qui sauve*. Paris, France : Éditions du Seuil.
- Régie de l’assurance maladie du Québec (RAMQ). (2017a). *Guide administratif : Liste des médicaments*. Repéré à [http://www.ramq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/professionnels/medicaments/liste-med4/guide\\_administratif\\_liste\\_med.pdf](http://www.ramq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/professionnels/medicaments/liste-med4/guide_administratif_liste_med.pdf)
- Régie de l’assurance maladie du Québec (RAMQ). (2017b). *Liste des médicaments : Établissements*. Repéré à [http://www.ramq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/liste\\_med/liste\\_med\\_etab\\_2017\\_11\\_15\\_fr.pdf](http://www.ramq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/liste_med/liste_med_etab_2017_11_15_fr.pdf)



*Règlement sur certaines substances interdites* (2012), DORS/2012-285.

*Règlement sur la récupération et la valorisation des produits par les entreprises*, c. Q -2, r.40.1.

*Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles*, c. Q -2, r.19.

*Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel*, c. Q -2. r.5.

*Règlement sur les BPC*, DORS/2008-273.

*Règlement sur les déchets biomédicaux*, c. Q -2. r.12.

*Règlement sur les effluents des systèmes d'assainissement des eaux usées*, DORS/2012-139.

*Règlement sur les entreprises d'aqueduc et d'égout*, c. Q -2. r.21.

*Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*, c. Q -2. r. 34.1.

*Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*, c. Q -2. r.22.

*Règlement sur les matières dangereuses*, c. Q -2. r.32

*Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées*, c. Q -2. r.34.1.

Réseau environnement santé (RES), International Chemical Secretariat (ChemSec), Women in Europe for a Common Future (WECF) et Health and Environment Alliance. (HEAL) (2011). *Dossier de presse – Liste SIN : Substitution Immédiate Nécessaire*. Repéré à <http://www.projetnesting.fr/IMG/pdf/RFBfTGldGVfU0lOLnBkZg==.pdf>

Ricart, M., Guasch, H., Alberch, M., Barceló, D., Bonnineau, C., Geiszinger, A., laFarré, M., Ferrer, J., Ricciardi, F., Romani, A. M., Morin, S., Proia, L., Sala, L., Sureda, D. et Sabater, D. (2010). Triclosan persistence through wastewater treatment plants and its potential toxic effects on river biofilms. *Aquatic toxicology*, 100(4), 346-353. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0166445X10003292>

Robinson, I., Junqua, G., Van Coillie, R. et Thomas, O. (2007). Trends in the detection of pharmaceutical products, and their impact and mitigation in water and wastewater in North America. *Anal Bioanal Chem*, 387(4), 1143-1151. Repéré à <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00216-006-0951-y>

Roche Canada. (2015). *Monographie : Xenical*. Repéré à [http://www.rochecanada.com/content/dam/roche\\_canada/fr\\_CA/documents/Research/ClinicalTrialsForms/Products/ConsumerInformation/MonographsandPublicAdvisories/Xenical/Xenical\\_PM\\_F.pdf](http://www.rochecanada.com/content/dam/roche_canada/fr_CA/documents/Research/ClinicalTrialsForms/Products/ConsumerInformation/MonographsandPublicAdvisories/Xenical/Xenical_PM_F.pdf)

Sanchez-Prado, L., Llompart, M., Lores, M., Garcia-Jares, C., Bayona, J. M. et Cela, R. (2006). Monitoring the photochemical degradation of triclosan in wastewater by UV light and sunlight using solid-phase microextraction. *Chemosphere*, 13(8), 1338-1347. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653506004887>

- Sanchez Uribe, J. S. (2017). *Présence de contaminants émergents dans les eaux potables de nix-neuf municipalités du centre-sud du Québec, Canada*. (Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/11106/Sanchez\\_Urbe\\_Juan\\_Sebastian\\_M\\_ScA\\_2017.pdf?sequence=8&isAllowed=y](http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/11106/Sanchez_Urbe_Juan_Sebastian_M_ScA_2017.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- Santé Canada. (2009). Antibiotiques (Topiques). Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/medicaments/demandes-presentations/lignes-directrices/medicaments-vente-libre-normes-etiquetages-produits-pharmaceutiques/antibiotiques-topiques.html>
- Santé Canada. (2014). Bisphénol A. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/salubrite-aliments/materiaux-emballage/bisphenol.html>
- Santé Canada. (2016). Triclosan. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-et-substances-chimiques/triclosan.html>
- Santé Canada. (2017a). Autorisation de mise en marché. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/legislation-lignes-directrices/lois-reglements/autorisations-mise-marche-lois-reglements-aliments-nutrition.html>
- Santé Canada. (2017b). Base de données sur les produits pharmaceutiques. Repéré à <https://produits-sante.canada.ca/dpd-bdpp/dispatch-repartition.do>
- Sauvé, S. (2012). Les médicaments dans l'environnement. Repéré à <https://fr.davidsuzuki.org/blogues/effets-medicaments-lenvironnement/>
- Sauvé, S. et Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central journal* 8 (15). Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3938815/>
- Seifrtova, M., Pena, A., Lino, C. M., et Solich, P. (2008). Determination of fluoroquinolone antibiotics in hospital and municipal wastewaters in Coimbra by liquid chromatography with a monolithic column and fluorescence detection. *Anal Bioanal Chem*, 391(3), 799-805. Repéré à <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00216-008-2020-1>
- Sim, W. J., Lee J. W., et Oh, J. E. (2010). Occurrence and fate of pharmaceuticals in wastewater treatment plants and rivers in Korea. *Environmental Pollution*, 158(5), 1938-1947. Repéré à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749109005351?via%3Dihub>
- Site Pilote de Bellecombe. (SIPIBEL) (2016). *Effluents hospitaliers et stations d'épuration urbaines : caractérisation, risques et traitabilité : Rapport 2011-2015*. Repéré à <http://www.graie.org/Sipibel/publications/sipibel-rapport-effluentshospitaliersmedicaments-oct16.pdf>
- Snyder, S. A., Adham, S., Redding, A. M., Cannon, F. S., DeCarolis, J., Oppenheimer, J., Wert, E. C. et Yoon, Y. (2006). Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. *Elsevier*, 202(2007), 156-181. Repéré à [https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/sauves/MonDepotPublic/Triple\\_quadropole/Occurrence/Romain/Revue%20biblio%20RB%202007-08-24/Articles/snyder%203.pdf](https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/sauves/MonDepotPublic/Triple_quadropole/Occurrence/Romain/Revue%20biblio%20RB%202007-08-24/Articles/snyder%203.pdf)

- Son, H. S., Ko, G. et Zoh, K. D. (2009). Kinetics and mechanism of photolysis and TiO<sub>2</sub> photocatalysis of triclosan. *Journal of hazardous materials*, 166(2-3), 954-960. Repéré à [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.usherbrooke.ca/S0304389408018050/1-s2.0-S0304389408018050-main.pdf?\\_tid=06c135aa-e03e-11e7-aae4-00000aabb0f02&acdnat=1513194446\\_8d7d43ebd011e428362b7f1482491711](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.usherbrooke.ca/S0304389408018050/1-s2.0-S0304389408018050-main.pdf?_tid=06c135aa-e03e-11e7-aae4-00000aabb0f02&acdnat=1513194446_8d7d43ebd011e428362b7f1482491711)
- Stoker, T. E., Gibson, E. K. et Zorrilla, M. (2010). Triclosan exposure modulates estrogen-dependent responses in the female wistar rat. *Toxicological sciences*, 117(1), 45-53. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20562219>
- Svenson, A., Allard, A. S. et Ek, M. (2003). Removal of estrogenicity in Swedish municipal sewage treatment plants. *Water research*, 37(18), 4433-4443. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0043135403003956>
- Syndicat des industriels des équipements du traitement et de l'analyse de l'eau (SIET). (2014). *Les technologies de traitement des micropolluants dans les eaux usées*. Repéré à [http://eau-entreprises.org/wp-content/uploads/SIET-FT-micropolluants\\_BD.pdf](http://eau-entreprises.org/wp-content/uploads/SIET-FT-micropolluants_BD.pdf)
- Système d'information pour la gestion des eaux souterraines (SIGES) du bassin Rhin-Meuse. (2016). Colloque sur les polluants émergents. Repéré à <http://sigesrm.brgm.fr/Colloque-sur-les-polluants-emergents-Orleans-mai-2016>
- Ternes, T. A., Kreckel, P. et Mueller, J. (1999). Behaviour and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants - II. Aerobic batch experiments with activated sludge. *The science of the total environment*, 225(1-2), 91-99. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969798003350>
- Thomas, K. V., Dye, C., Schlabach, M., Landford, K. H. (2007). Source to sink tracking of selected human pharmaceuticals from two Oslo city hospitals and a wastewater treatment work. *Journal of environment monitoring*, 9(12), 1410-1418. Repéré à <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2007/EM/b709745j#!divAbstract>
- Traitement des eaux. (s.d.) Traitement des eaux. Repéré à <http://traitementdeseaux.fr/>
- Tran, N. (2016). *Développement d'un procédé de traitement d'oxydation sono-électrochimique de polluants organiques d'intérêt émergent de type pharmaceutique*. (Thèse de doctorat, Université du Québec, Québec, Québec). Repéré à <http://espace.inrs.ca/4895/1/Tran,%20Nam.pdf>
- Union européenne (UE). (2004). *Assessment of technologies for the removal of pharmaceuticals and personal care products in sewage and drinking water facilities to improve the indirect potable water reuse*. Repéré à <http://undine.bafg.de/servlet/is/2888/Final-Report-POSEIDON-May20060af7.pdf?command=downloadContent&filename=Final-Report-POSEIDON-May2006.pdf>
- United states Environmental Protection Agency. (US EPA) (2002). *Eliminating mercury in hospitals. Environmental best practices for health care facilities*. Repéré à <https://www3.epa.gov/region9/waste/p2/projects/hospital/mercury.pdf>
- United states Environmental Protection Agency. (US EPA) (2017a). DDT -A brief history. Repéré à <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-andr-status>
- United states Environmental Protection Agency. (US EPA) (2017b). Basic information about mercury. Repéré à <https://www.epa.gov/mercury/basic-information-about-mercury>

- United states Food and Drug Administration. (US FDA) (2017). EDKB Ressources. Repéré à <https://www.fda.gov/ScienceResearch/BioinformaticsTools/EndocrineDisruptorKnowledgebase/ucm084342.htm>
- Université de Strasbourg (2017). Oestrogénomimétique. Repéré à <http://dictionnaire.acadpharm.org/w/%C5%92strog%C3%A9nomim%C3%A9tique>
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., et Barceló, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants : micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of hydrology* 389(3-4), 416-428. Repéré à file:///F:/Essai/Verlicchi,%202010.html
- Verlicchi, P. Al Aukidy, M., Galletti, A., Petrovic, M. et Barceló, D. (2012). Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment. *Science of the total environment*, 430, 109-118. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969712005876>
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M. et Zambello, E. (2015). What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? — An overview and a discussion on perspectives. *Science of the environment*, 514, 467-491. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969715001564?via%3Dihub>
- Ville de Montréal. (2008). *Règlement numéro 2008-47 sur l'assainissement des eaux*. Repéré à [http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro\\_fr/media/documents/reglements/reglement\\_cmm\\_2008\\_47.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/enviro_fr/media/documents/reglements/reglement_cmm_2008_47.pdf)
- Wikimédia Commons. (2014). File : Roediger NoMix toilet. Repéré à [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roediger\\_NoMix\\_toilet\\_\(3330230233\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roediger_NoMix_toilet_(3330230233).jpg)
- Wilson, B., Chen, R.C., Cantwell, M., Gontz, A., Zhu, J., Olsen, C.R. (2009). The partitioning of triclosan between aqueous and particulate nound in the Hudson river estuary. *Marine pollution bulletin*, 59(4-7), 207-212. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0025326X09001386>
- Ying, G. G. et Kookana, R. S. (2007). Triclosan in wastewaters and biosolids from Australian wastewater treatment plants. *Environment international*, 33, 199-205. Repéré à [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.usherbrooke.ca/S0160412006001437/1-s2.0-S0160412006001437-main.pdf?\\_tid=debd8296-d3f6-11e7-8623-00000aabb0f02&acdnat=1511844472\\_acf604086cc7ba37354598597bb6331b](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.usherbrooke.ca/S0160412006001437/1-s2.0-S0160412006001437-main.pdf?_tid=debd8296-d3f6-11e7-8623-00000aabb0f02&acdnat=1511844472_acf604086cc7ba37354598597bb6331b)
- Zaviska, F., Drogui, P., Mercier, G. et Blais, J. F. (2009). Procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels : Application à la dégradation des polluants réfractaires. *Revue des sciences de l'eau*, 22(4), 461-573. Repéré à <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2009-v22-n4-rseau3478/038330ar/>
- Zhang, Y. P., Jia, C. G., Peng, R., Ma, F. et Ou, G. N. (2014). Heterogeneous photo-assisted Fenton catalytic removal of tetracycline using Fe-Ce pillared bentonite. *Central south university press*, 21, 310-316. Repéré à <http://or.nsfc.gov.cn/bitstream/00001903-5/71350/1/1000004218649.pdf>
- Zhang, Y. et Zhou, J. L. (2008). Occurrence and removal of endocrine disrupting chemicals in wastewater. *Chemosphere*, 73(5), 848-853. Repéré à <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653508007546>

## BIBLIOGRAPHIE

- Administration de la gestion de l'eau du Luxembourg. (2014). Traitement par le procédé des lits bactériens. Repéré à [https://eau.public.lu/eaux\\_usees\\_pluviales/traitement/lits\\_bacteriens/index.html](https://eau.public.lu/eaux_usees_pluviales/traitement/lits_bacteriens/index.html)
- Andreozzi, R., Raffaele, M. et Nicklas, P. (2003). Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. *Chemosphère*, 50, 1319-1330. Repéré à [https://ac.els-cdn.com/S0045653502007695/1-s2.0-S0045653502007695-main.pdf?\\_tid=82407fea-cae7-11e7-a5ec-00000aabb0f01&acdnat=1510848313\\_2ccbbaea9989fd273c44c19612012b77](https://ac.els-cdn.com/S0045653502007695/1-s2.0-S0045653502007695-main.pdf?_tid=82407fea-cae7-11e7-a5ec-00000aabb0f01&acdnat=1510848313_2ccbbaea9989fd273c44c19612012b77)
- Beaudoin, L. (2015, 7 février). Quand vos médicaments perturbent les poissons. Repéré à <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/705365/medicament-eau-poissons>
- Bruce, P. Barden, R. et Kasprzyk-Hordern, B. (2015) A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment : Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3-27.
- Champagne, E. P. (2013, 2 décembre). Zoom des médicaments dans l'eau. La Presse.ca. Repéré à [http://plus.lapresse.ca/screens/4a47-ee14-529baff8-a23e-0e21ac1c606d%7C\\_0.html](http://plus.lapresse.ca/screens/4a47-ee14-529baff8-a23e-0e21ac1c606d%7C_0.html)
- Chen, C.Y., Wen, T.Y., Wang, G.S., Cheng, H.W., Lin, Y.H., Lien, G.W. (2007) Determining estrogenic steroids in Taipei waters and removal in drinking water treatment using high-flow solid-phase extraction and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Science of the total environment*, 378(3), 352-365. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0048969707002975?via%3Dihub>
- Clayton, E.M.R., Todd, M., Dowd, J.B. et Aiello, A.E. (2011). The impact of bisphenol A and triclosan immune parameters in U.S. population, NHANES 2003-2006. *Environmental health perspectives*, 119(3), 390-396. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3060004/>
- Commissaire à la Santé et au Bien-être (CSBE). (2014). *Les médicaments d'ordonnance : État de la situation au Québec*. Deuxième version. Repéré à [http://www.csbe.gouv.qc.ca/fileadmin/www/2014/Medicaments/CSBE\\_Medicaments\\_EtatSituation\\_2e.pdf](http://www.csbe.gouv.qc.ca/fileadmin/www/2014/Medicaments/CSBE_Medicaments_EtatSituation_2e.pdf)
- Conseil général Seine et Marne. (s.d.). *Fiche technique sur l'assainissement collectif n 2 – La filière lit bactérien*. Repéré à <http://www.eau.seine-et-marne.fr/library/99b79a0f-e691-4502-b269-aa58fa55d82c-Fiche-technique---Lit-bact-rien.pdf>
- Corniou, M. (2017, 30 mars). Perturbateurs endocriniens : la menace invisible. *Québec Science*. Repéré à <http://www.quebecscience.qc.ca/Sante/Perturbateurs-endocriniens-la-menace-invisible>
- Corriveau, A. (2017, 21 mars). Des pesticides et des produits pharmaceutiques dans votre eau potable. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1023513/des-pesticides-et-des-produits-pharmaceutiques-dans-votre-eau-potable>
- Cygler, C. (2011, 29 septembre). Une solution pour éliminer les substances pharmaceutiques des eaux usées des hôpitaux. *Actu Environnement.com*. Repéré à <https://www.actu-environnement.com/ae/news/substance-pharmaceutique-eaux-usees-hopital-technologie-13692.php4>

- Écotoxicologie. (2014). Les médicaments sont-ils dangereux pour l'environnement ?. Écotoxicologie, section Quels effets ?. Repéré à <http://www.ecotoxicologie.fr/medicaments.php>
- Environnement Canada (EC). (2011). Rapport de 2011 sur l'utilisation de l'eau par les municipalités – Utilisation de l'eau par les municipalités, statistiques de 2009. Repéré à [https://www.ec.gc.ca/doc/publications/eau-water/com1454/long\\_descrip-fra.htm](https://www.ec.gc.ca/doc/publications/eau-water/com1454/long_descrip-fra.htm)
- Hanselman, T., Graetz, D. A. et Wilkie, A. C. (2003). Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants : a review. *American chemical society*, 37(24), 5471-5478. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14717153>
- Horel, S. (2008). Les médicamenteurs. [Documentaire]. Paris, France : Beau comme une image.
- Institut canadien d'information sur la santé (ICIS). (2012). *Facteurs d'accroissement des dépenses en médicaments prescrits au Canada*. Repéré à [https://www.cihi.ca/fr/drug\\_spend\\_drivers\\_fr.pdf](https://www.cihi.ca/fr/drug_spend_drivers_fr.pdf)
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2006). *Portrait de santé du Québec et de ses régions 2006 : Deuxième rapport national sur l'état de santé de la population du Québec*. Repéré à [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/545-PortraitSante2006\\_Statistiques.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/545-PortraitSante2006_Statistiques.pdf)
- Kümmerer, K. et Al-Ahmad, A. (1997). Biodegradability of the anti-tumour agents 5-fluorouracil, cytarabine, and gemcitabine : Impact of the chemical structure and synergistic toxicity with hospital effluent. *Acta hydrochim. Hydrobiol* 25(4), 166-172. Repéré à <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ahch.19970250402/epdf>
- Kümmerer, K. (2001) Drugs in the environment : emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphère*, 45(6-7), 957-969. Repéré à <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.usherbrooke.ca/science/article/pii/S0045653501001448?via%3Dihub>
- Lin, A. Y. C. et Reinhard, M. (2005). Photodegradation of the common environmental pharmaceuticals and estrogens in river water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(6), 1303-1309. Repéré à <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/04-236R.1/abstract>
- Maroga Mboula, V. (2012). *Devenir de polluants émergents lors d'un traitement photochimique ou photocatalytique sous irradiation solaire* (Thèse de doctorat, Université de Nantes Angers Le Mans, Nantes, France). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00779791/document>
- Maruszczak, N. (2010). *Étude du transfert du mercure et du méthylmercure dans les écosystèmes lacustres alpins*. (Thèse de doctorat, Université de Grenoble, Grenoble, France). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00553704/document>
- Ministère de l'Environnement, du Développement durable et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2014). *Ouvrages de surverse et stations d'épuration : Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ouvrages-municipaux/omaeu-mamot/2013.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2017). Les déchets biomédicaux : le règlement en bref. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/biomedicaux/index.htm>

- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2003). *Les risques émergents au XXI<sup>e</sup> siècle – vers un programme d'action*. Repéré à <https://www.oecd.org/fr/gov/37388661.pdf>
- Pépin, J. M. (2006). *Impacts écotoxicologiques de certains médicaments dans l'environnement*. (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à <https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2006/JMPepin.pdf>
- Programme des nations unies pour le développement (PNUD). (2017). Objectif 6 : eau propre et assainissement. Repéré à <http://www.undp.org/content/undp/fr/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Proulx, S. (2010). Des médicaments dans l'eau [Émission]. *La vie en vert*. Montréal, Québec : Télé-Québec.
- Rezaee, A., Ansari, M., Khavanin, A., Sabzali, A. et Aryan, M. M. (2005) Hospital wastewater treatment using an integrated anaerobic aerobic fixed film bioreactor. *American journal of environment science*, 1(4), 259-263. Repéré à <http://thescipub.com/PDF/ajessp.2005.259.263.pdf>
- Rossi, L. (2012). *Les eaux usées hospitalières représentent-elles un enjeu environnemental majeur?*. Infoscience, section Micropolluants et hôpitaux CHUV. Repéré à <https://infoscience.epfl.ch/record/178287/files/Micropolluants%20et%20hopitaux%20CHUV.pdf>
- Santé Canada. (2016). Acétaminophène. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-et-appareils-medicaux/acetaminophene.html>
- Schäfer, A. I., Nghiem, L. D. et Waite, T. D. (2003). Removal of the natural hormone estrone from aqueous solutions using nanofiltration and reverse osmosis. *Environnement Science and Tehcnologie*, 37(1), 182-188. Repéré à <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0102336>
- Segura, P. A., Gagnon, C. et Sauvé, S. (2009). Review of the occurrence of anti-infectives in contaminated wastewaters, natural and drinking waters. *Environmental Health Perspectives*, 117 (5), 675–684. Repéré à <https://ehp.niehs.nih.gov/11776/>
- The conference board of Canada. (2017). Traitement des eaux usées. Repéré à <http://www.conferenceboard.ca/hcp/provincial-fr/environnement-fr/waste-water-fr.aspx>
- Viglino, L., Aboulfadl, k., Prévost, M., Sauvé, S. (2008). Analysis of natural and synthetic estrogenic endocrine disruptors in environmental waters using online preconcentration coupled with LC-APPI-MS/MS. *Talanta*, 76(5), 1088-1096. Repéré à <file:///F:/Essai/viglino%20et%20al%202008.html>
- Voloshyn, K. (2014). *Problématique de la gestion des eaux usées industrielles au niveau municipal dans les régions de l'estrie et de la Montérégie*. (Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec). Repéré à [https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais\\_2014/VoloshynK\\_\\_2014-06-26\\_.pdf](https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2014/VoloshynK__2014-06-26_.pdf)
- Zgheib, S. (2011). *Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire*. (Thèse de doctorat, École nationale des ponts et chaussées, Paris, France). Repéré à [https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/554932/filename/THESE\\_SallyZGHEIB2009.pdf](https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/554932/filename/THESE_SallyZGHEIB2009.pdf)

Zhou, J. L., Zhang, Z. L., Banks, E., Grover, D. et Jiang, J. Q. (2009). Pharmaceutical residues in wastewater treatment works effluents and their impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, 166(2-3), 655-661. Repéré à [https://ac.els-cdn.com/S0304389408017615/1-s2.0-S0304389408017615-main.pdf?\\_tid=d10e7f36-cae8-11e7-9323-00000aab0f26&acdnat=1510848875\\_7affdf819415a5086c4b7352d97629c4](https://ac.els-cdn.com/S0304389408017615/1-s2.0-S0304389408017615-main.pdf?_tid=d10e7f36-cae8-11e7-9323-00000aab0f26&acdnat=1510848875_7affdf819415a5086c4b7352d97629c4)

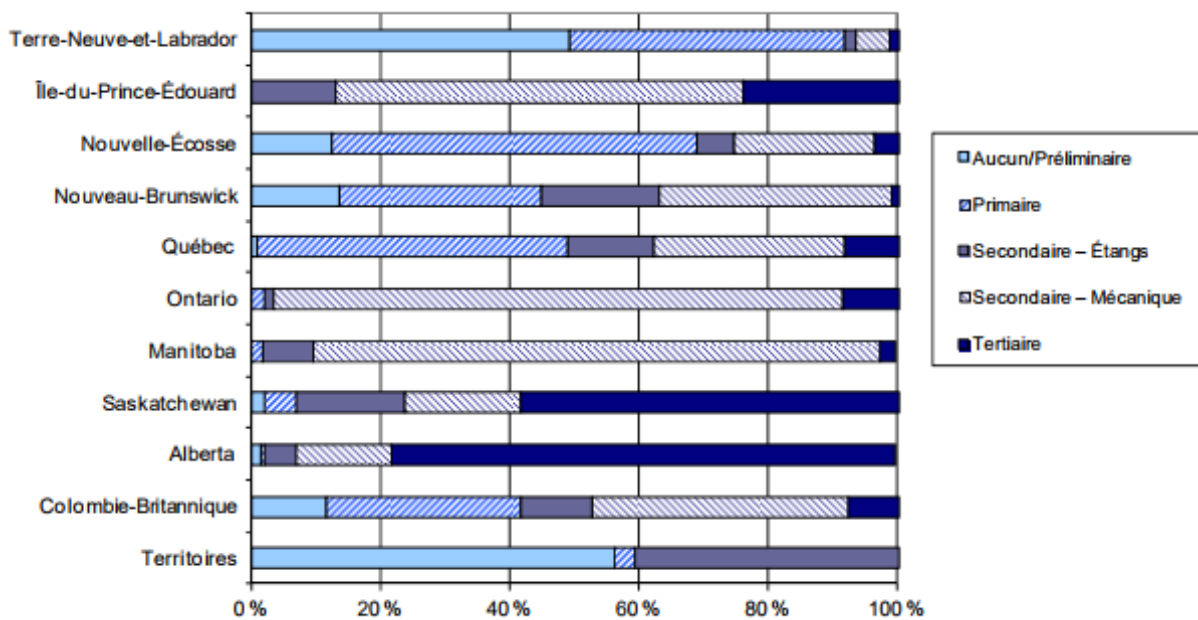


**ANNEXE 1 – SYNTHÈSE DES PARTIES PRENANTES IMPLIQUÉES DANS L'ÉMISSION DES  
PE DANS LES EFFLUENTS HOSPITALIERS**

Influence	Élevée	Maintenir satisfait	Gérer activement
		<ul style="list-style-type: none"><li>• Instances internationales</li><li>• Gouvernement du Canada</li><li>• Compagnies pharmaceutiques</li></ul>	
	Faible	Surveiller	Garder informer
		<ul style="list-style-type: none"><li>• Dirigeants des hôpitaux</li><li>• Employés des hôpitaux</li><li>• Patients</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gouvernement du Québec</li><li>• Gestionnaires des stations d'assainissement des eaux</li><li>• Municipalités</li></ul>
		Faible	Élevé
		Intérêt	

## ANNEXE 2 – POURCENTAGE DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES PAR PROVINCE EN 2011 (tiré de : GC, 2011)

Cette figure présente le niveau de traitement des eaux usées par province ou territoire du Canada. Pour la province du Québec, 99,1 % des eaux usées sont traitées. De ce pourcentage, 48,1 % des eaux subissent uniquement un traitement primaire. Alors que 43 % de ces eaux se soumettent à un traitement secondaire, soit par bassin de stabilisation ou de façon mécanique. Finalement, seulement 8 % des eaux traitées passent par un traitement tertiaire.

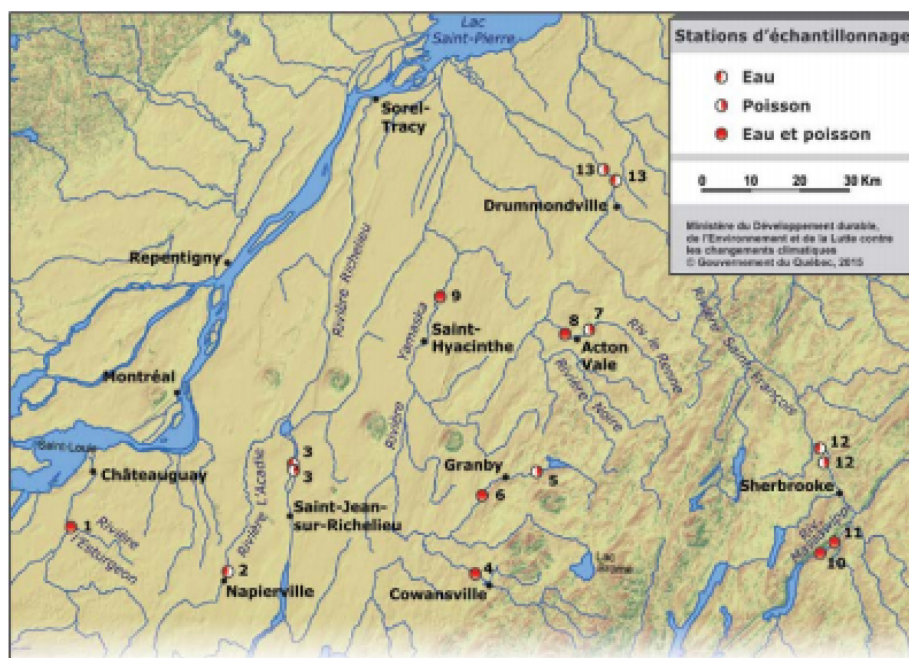


**ANNEXE 3 – POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES PPSP, HORMONES ET AUTRES SUBSTANCES DANS LES RÉGIONS DE L'ESTRIE ET DE LA MONTÉRÉGIE** (tiré de : MDDELCC, 2017b)

Bassin	Cours d'eau	Site	Description	Numéro		Composante échantillonnée	
				Figure 1	SCMA*	Eau	Poissons
Châteauguay	l'Esturgeon	Aval des lagunes de Mercier	au pont de la route 138 à Sainte-Martine	1	3030025	X	X
Richelieu	L'Acadie	Aval de Napierville	entre les no chicques 417 et 419 de la route 219	2	3040185	X	
	Richelieu	Aval de St-Jean-sur-Richelieu	en aval du barrage Fryers	3	3040010	X	
		Aval de St-Jean-sur-Richelieu	en aval de l'île Sainte-Thérèse, à 78,7 km de l'embouchure	3	3040068		X
Yamaska	Yamaska Sud-Est	Aval de Cowansville	en aval immédiat du pont de la route 139	4	3030115	X	X
	Yamaska Nord	Amont de Granby	Yamaska Nord, à la plage Darby, à 29,7 km de l'embouchure	5	3030233		X
		Aval de Granby	au pont de la route 139	6	3030027	X	X
	Le Renne	Amont d'Acton Vale	au pont à 2 km en amont d'Acton Vale	7	3030116		X
		Aval d'Acton Vale	au pont de la route Titessault	8	3030346	X	X
	Yamaska	Aval de St-Hyacinthe	en amont de Saint-Simon, à 53,8 km de l'embouchure	9	3030214	X	X
St-François	Mississippi	Amont de l'ancien site minier Eustie	en amont de l'embouchure du ruisseau Eustie	10	3030253	X	X
		Aval de l'ancien site minier Eustie	en aval de l'embouchure du ruisseau Eustie	11	3030254	X	X
	St-François	Aval de Sherbrooke	au pont de la route 143 à Sherbrooke (Bromptonville)	12	3030035	X	
		Aval de Sherbrooke	en amont de Bromptonville, à 137,1 km de l'embouchure	12	3030231		X
		Effluent de Drummondville	dans l'effluent de la station de traitement des eaux usées de Drummondville** à 0,5 km en aval de l'île Rochelleau	13	3030069	X	X

\* numéro de la station dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique du MDDELCC

\*\* échantillonnage dans l'effluent de la station de traitement des eaux usées plutôt que dans la rivière.



**Stations eau potable**

- 2003-2006
- 2008-2009

**Stations eaux usées**

- 2003-2006
- 2008-2009

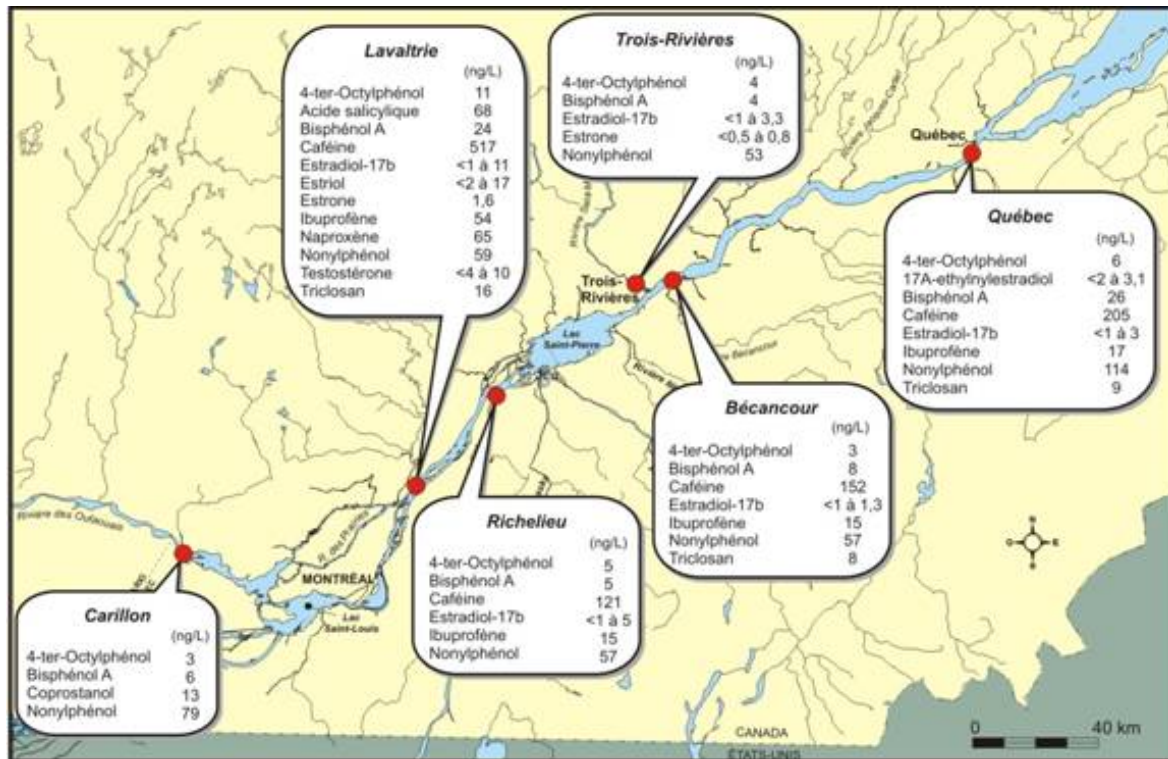
Map labels include: Québec, Lévis (Charny), Saint-Lambert-de-Lauzon, Trois-Rivières, Pierreville, Drummondville, Saint-Denis-sur-Richelieu, Vallée du Richelieu, Lavaltrie, L'Assomption, Repentigny, Terrebonne, (Sainte-Rose - Auteuil), Rosemère, Blainville, Sainte-Thérèse, Oka, Montréal, Beloeil, Farnham, Cowansville, Sherbrooke, Lac Brome, Lac Memphrémagog, Lac Saint-François, Lac Saint-Pierre, Rivière Richelieu, Rivière Yamaska, Rivière Yamaska Sud-Est, Rivière Saint-François, Rivière Shavénigan, Rivière Assomption, Rivière Chaudière, États-Unis, Ontario.

0 20 km

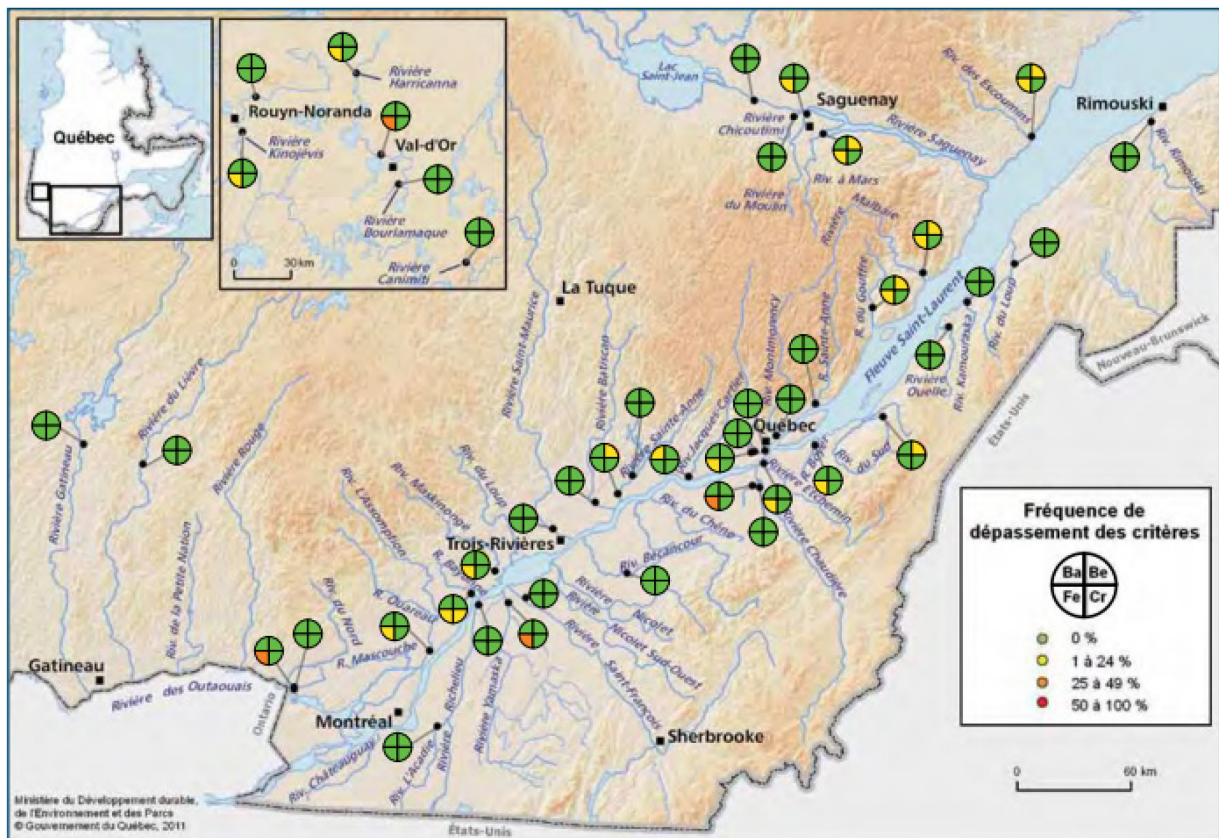
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs  
© Gouvernement du Québec, 2010



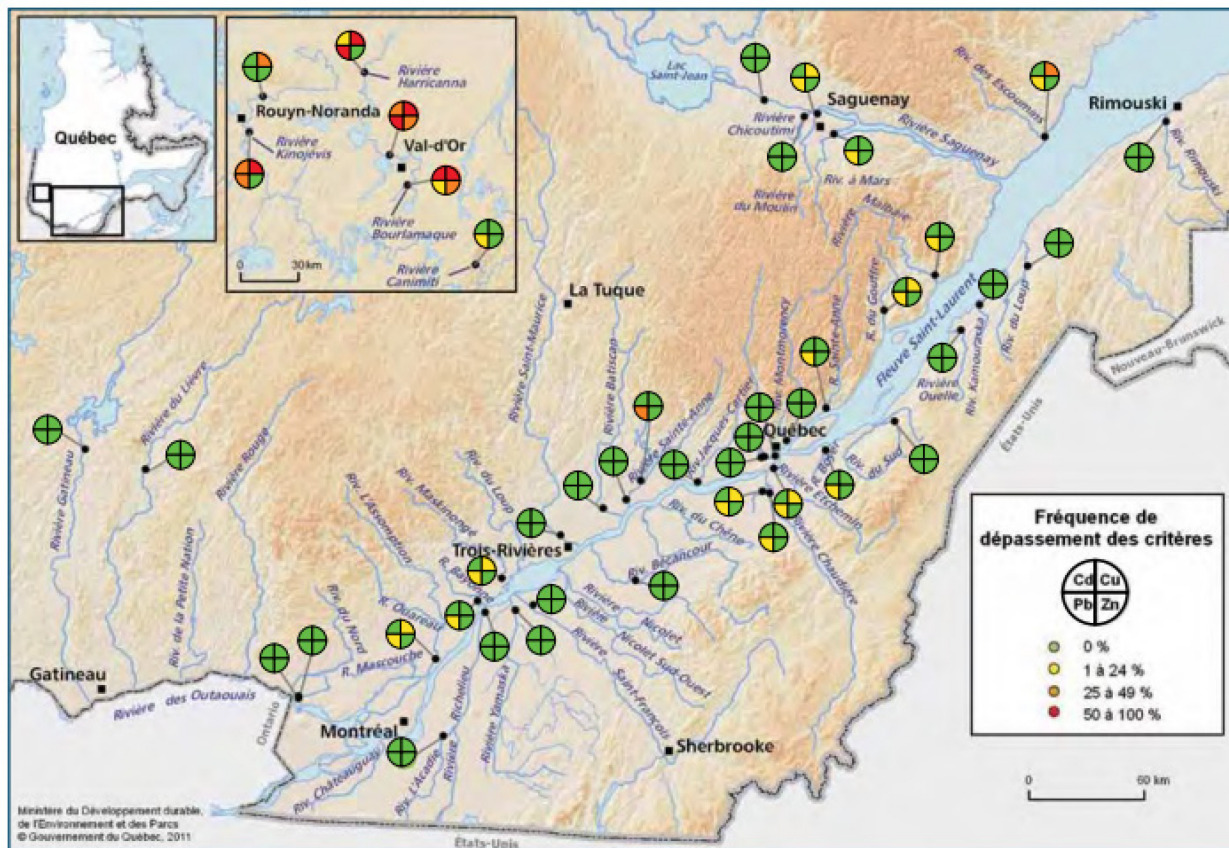
**ANNEXE 5 - POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE SURFACE POUR LE SUIVI DES PPSP, DES HORMONES ET AUTRES SUBSTANCES (tiré de : ECCC, 2009)**



**ANNEXE 6 – POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES MÉTAUX BARYUM, BÉRYLLIUM, FER ET CHROME DANS LES COURS D'EAU DU QUÉBEC** (tiré de : MDDEP, 2012a)



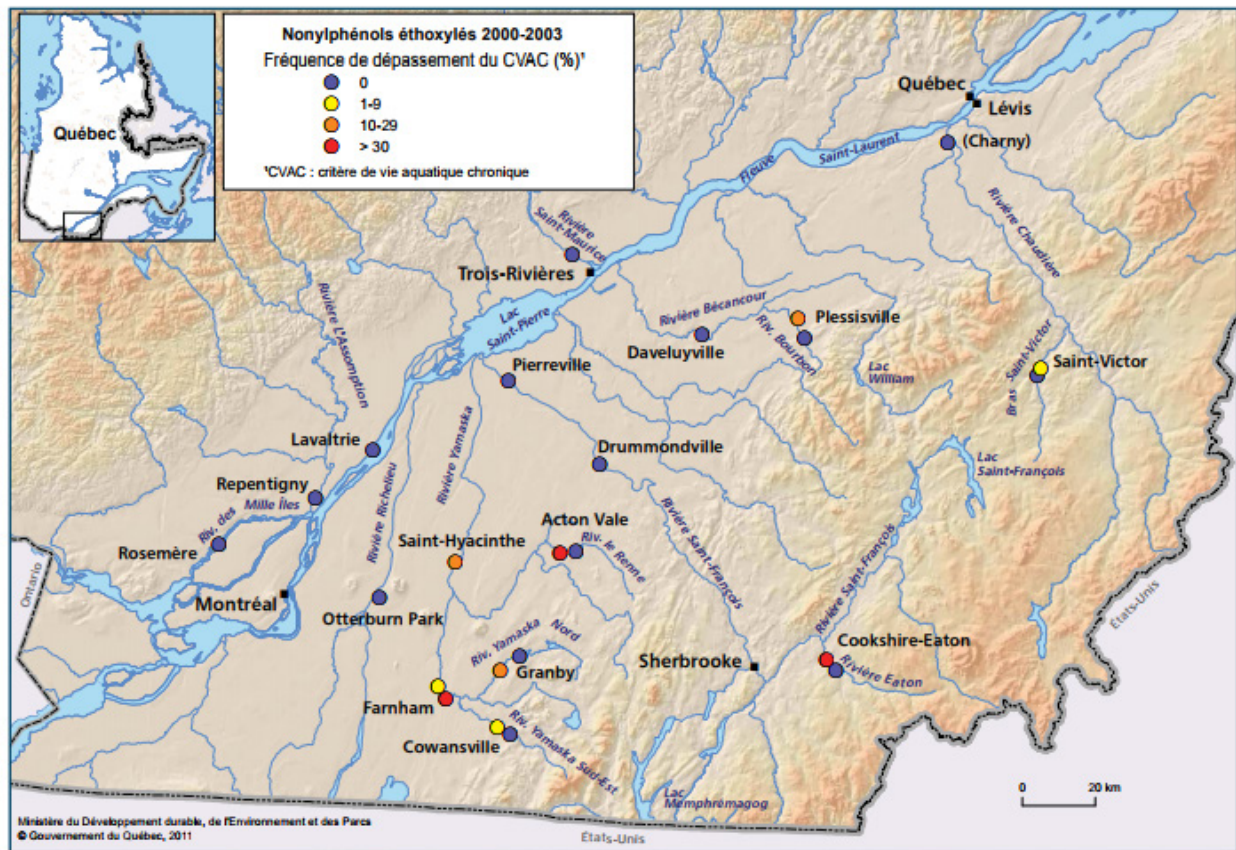
**ANNEXE 7 - POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES MÉTAUX CADMIUM, CUIVRE, PLOMB, ZINC DANS LES COURS D'EAU DU QUÉBEC** (tiré de : MDDEP, 2012a)



**Figure 22.** Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc au cours de la période 2004-2008



ANNEXE 8 - FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT DU CVAC POUR LES NPE (tiré de : MDDEP, 2012a)





**ANNEXE 9 – MÉDICAMENTS UTILISÉS EN HÔPITAUX POUR TRAITER LES PRINCIPALES MALADIES CHRONIQUES AFFECTANT LA POPULATION DU QUÉBEC** (compilé de : l'Association pulmonaire du Canada, 2014 et RAMQ, 2017b)

Les substances actives surlignées en jaune sont celles également inscrites au tableau 3.1.

Maladies	Médicaments
Hypertension	Aliskirène Ambrisentan Bosentan Citrate de sildénafil Chlorhydrate d'esmolol Epoprosténol sodique Macitentan Oxyde nitrique Riociguat Tadalafil Treprostinil sodique
Arthrite	Abatacept Adalimumab Certolizumab pegol Etanercept Fébuxostat Golimumab Infliximab Méthotrexate Tocilizumab Tofacitinib Ustekinumab
Allergies alimentaires et non alimentaires	Cimétidine Chlorhydrate de cétirizine Chlorhydrate de cyproheptadine Chlorhydrate d'épinéphrine Chlorhydrate de diphenhydramine Chlorhydrate de flunarizine Chlorhydrate de prométhazine Epinéphrine Famotidine Furamate de kétotifène Loratadine Tartrate de triméprazine Ranitidine
Problèmes de la thyroïde	Chlorhydrate de cinacalcet Calcitonine de saumon Lévothyroxine sodique Liothyronine sodique Protireline Tériparatide Thyrotropine alfa
Maladies cardiaques	Apixaban Dabigatran etexilate Dipyridamole/Acide acétylsalicylique Eplérénone Rivaroxaban Sacubitril/ Valsartan
Diabète	Dextrose Insuline aspart Insuline glargine Insuline lispro protamine
Asthme	Fumarate de formotérol dihydraté/ Budésonide Fumarate de formotérol dihydraté/ Furoate de mométasone Xinafoate de salmétérol/propionate de fluticasone Trifénatate de vilantérol/ furoate de fluticasone
MPOC	Chlorhydrate d'olodatérol/bromure monohydraté de Tiotropium Formotérol Fumarate de formotérol/budésonide Furoate de fluticasone/trifénatate de vilantérol Malate d'indacatérol/bromure de glycopyrronium Propionate de fluticasone/xinafoate de salmétérol Salbutamol Salmétérol Tiotropium Trifénatate de vilantérol/bromure d'umécldinium

**ANNEXE 9 – MÉDICAMENTS UTILISÉS EN HÔPITAUX POUR TRAITER LES PRINCIPALES MALADIES CHRONIQUES AFFECTANT LA POPULATION DU QUÉBEC (suite)**

Maladies	Médicaments
Cancer	Acétate d'abiratéron
	Acétate de mégestrol
	Acide zolédronique
	Bevacizumab
	Capécitabine
	Cétuximab
	Chlorhydrate de doxorubine
	Chlorhydrate d'erlotinib
	Chlorhydrate trihydraté d'irinotécan
	Chlorure de radium-223
	Chlorure de strontium-89
	Crizotinib
	Cyclophosphamide
	Denosumab
	Dimaléate de afatinib
	Docétaxel
	Enzalutamide
	Gefitinib
	Gemcitabine
	Ifosfamide
	Lapatinib
	Lenvatinib
	Malate de sunitib
	Mésylate d'éribuline
	Méthotrexate
	Nivolumab
	Oxaliplatine
	Paclitaxel
	Paclitaxel en nanoparticules
	Panitumumab
	Pemetrexed disodique
	Pertuzumab / Trastuzumab
	Raltitrexed
	Ramucirumab
	Thyrotropine alfa
	Topotécan
	Trastuzumab
	Trastuzumab emtansine
	5-Fluorouracil

## ANNEXE 10 – GRILLES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ÉLIMINATION DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENTS DES EAUX USÉES

Les grilles d'évaluation des six technologies spécialisées de traitement des eaux sont présentées ci-dessous. Pour chaque critère, la case colorée qui lui est associée, correspond à la note obtenue. La moyenne de ces notes donne le résultat de la composante entre 0 et 1. Une valeur se rapprochant de 0 signifie que l'efficacité d'élimination de la composante est faible. Au contraire, si le résultat se rapproche de 1, le pourcentage d'élimination est bon. Finalement, la moyenne des valeurs des composantes multiplier par 100 permet d'obtenir le taux d'efficacité de chaque technologie. Celui-ci est inscrit à la dernière ligne de chaque grille d'évaluation.

Osmose inversée (OI)					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					0,8
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					0,65
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					0,4
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					0,8
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					1
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					0,96666667
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxithromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					76,9%

Filtration sur charbon activé					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					1
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					1
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					0,8
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					1
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					0,25
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					1
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxithromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					84,2%

## ANNEXE 10 – GRILLES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ÉLIMINATION DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENTS DES EAUX (SUITE)

Ozonation (O <sub>3</sub> )					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					0,6
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					0,9
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					1
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					0,2
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					0,2
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					1
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxythromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					65,0%

TiO <sub>2</sub> /UV					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					0,6
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					0,4
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					0,8
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					1
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					0,55
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					0,266666667
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxythromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					60,3%

## ANNEXE 10 – GRILLES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ D'ÉLIMINATION DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENTS DES EAUX (SUITE)

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					0,8
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					1
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					1
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					1
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					0,7
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					0,6
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxythromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					85,0%

Photo-Fenton					
Critères	Nul	Faible	Moyen	Bon	Excellent
	0-39 (1)	40-59 (2)	60-79 (3)	80-90 (4)	91-100 (5)
1. Écotoxicité des effluents					0,6
Engendre la création de substances toxiques	1	2	3	4	5
Engendre un substrat devant être traité	1	2	3	4	5
Doit nécessairement être suivi d'un autre traitement	1	2	3	4	5
Engendre une contamination supplémentaire	1	2	3	4	5
2. Hormones stéroïdiennes					0,4
E1	1	2	3	4	5
E2	1	2	3	4	5
E3	1	2	3	4	5
EE2	1	2	3	4	5
3. Triclosan					1
Triclosan	1	2	3	4	5
4. Nonylphénol					1
Nonylphénol	1	2	3	4	5
5. Cytostatiques					1
Cyclophosphamide	1	2	3	4	5
Ifosfamide	1	2	3	4	5
Méthotrexate	1	2	3	4	5
5- fluorouracil	1	2	3	4	5
6. Effet bactéricide					1
Amoxicilline	1	2	3	4	5
Chlorotétracycline	1	2	3	4	5
Ciprofloxacine	1	2	3	4	5
Clarithromycine	1	2	3	4	5
Érythromycine	1	2	3	4	5
Norfloxacine	1	2	3	4	5
Oxofloxacine	1	2	3	4	5
Roxythromycine	1	2	3	4	5
Sulfaméthoxazole	1	2	3	4	5
Tétracycline	1	2	3	4	5
Triméthoprim	1	2	3	4	5
Vancomycine	1	2	3	4	5
Pourcentage d'efficacité					83,3%